

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí

Statický posudek dopravníkového mostu vedoucího nad dálnicí ve městě
Virginia Beach

Static Assessment of Conveyor Bridge above the Motorway in Virginia
Beach

Student:

Miroslav Vacek

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Vít Křivý, Ph.D.

Ostrava 2019

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra konstrukcí

Zadání bakalářské práce

Student: **Miroslav Vacek**
Studijní program: B3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 3607R037 Konstrukce staveb
Téma: **Statický posudek dopravníkového mostu vedoucího nad dálnicí ve městě Virginia Beach**
Static Assessment of Conveyor Bridge above the Motorway in Virginia Beach
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

V rámci bakalářské práce:

1. Vytvořte statický model dopravníkového mostu vedoucího nad dálnicí ve městě Virginia Beach (USA).
2. Staticky posuďte rozhodující nosné prvky a spoje navržené konstrukce. Posudky proveďte podle platných evropských norem, tzv. Eurokódů.
3. Vypracujte technickou zprávu a přehledné výkresy ocelové konstrukce.
4. Vypracujte studii, ve které porovnáte přístup amerických a evropských norem k zatížení a kombinacím zatížení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] ČSN EN 1990 ed.2 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. ÚNMZ, 2011 (včetně změn a oprav).
- [2] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. ČNI, 2004 (včetně změn a oprav).
- [3] ČSN EN 1991-1-3 ed. 2 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Zatížení sněhem. Praha, ÚNMZ, 2013 (včetně změn a oprav).
- [4] ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem. ČNI, 2007 (včetně změn a oprav).
- [5] ČSN EN 1993-1-1 ed. 2 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha, ÚNMZ, 2011 (včetně změn a oprav).
- [6] ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčníků. Praha, ÚNMZ, 2007 (včetně změn a oprav).
- [7] ČSN EN 1998-1 Eurokód 8: Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení - Část 1: Obecná pravidla, seizmická zatížení a pravidla pro pozemní stavby. Praha, ÚNMZ, 2006 (včetně změn a oprav).
- [8] Holický, M, Marková, J. Zásady navrhování stavebních konstrukcí. Příručka k ČSN EN 1990. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2007.
- [9] Technické podklady dodané společností Institut ocelových konstrukcí, spol. s r. o.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vít Křivý, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2018

Datum odevzdání: 06.05.2019



doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 6.5.2019

.....

Miroslav Vacek

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do její skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 6.5.2019

.....

Miroslav Vacek

Poděkování:

Děkuji panu doc. Ing. Vítu Křivému, Ph.D. vedoucímu bakalářské práce za odborné vedení, ochotu a vstřícnost při psaní mé práce. Dále děkuji paní Ing. Monice Kubzové za pomoc s programem Tekla Structure. Také děkuji své rodině a přítelkyni za shovívavost, kterou mi poskytovali, abych mohl psát tuto práci. Za korekci samotné práce děkuji mamce a přítelkyni, bez kterých by tato práce pravděpodobně nebyla ve stylistické a lingvistické kvalitě v jaké je. Děkuji za respektování mých nočních prací jak rodině, přítelkyni a hlavně spolubydlícímu, který to poznal asi nejvíce.

Anotace

Cílem bakalářské práce je posudek dopravníkového mostu jdoucího přes dálnici ve městě Virginia Beach. Pro modelování a následnou analýzu konstrukce jsou využity softwary, z velké části SCIA Engineer, dále Idea StatiCa a pro dokumentaci Tekla Structures. Základní dokumentace je součástí zadání práce, je však vytvořena přehledná výkresová dokumentace a technická zpráva. Další částí práce je porovnání přístupu americké normy ASCE s evropskou normou Eurokod v přístupu k zatížení a jejich kombinaci.

Klíčová slova: dopravníkový most, technická zpráva, ASCE, Tekla

Anotation

The aim of this bachelor thesis is static report of conveyor bridge going over the highway in Virginia Beach. For modeling and subsequent analysis structure are used softwares, mostly SCIA Engineer, then Idea StatiCa and for documentation is used Tekla Structures. Basic documentation is part of the assignment bachelor thesis, but is created well-arranged drawing documentation and technical report. Next part thesis is comparison access American standards ASCE with European standards Eurocode in access to load and their combination.

Keywords: conveyor bridge, technical report, ASCE, Tekla

Obsah

1. Úvod	18
2. Umístění konstrukce	19
3. Model dopravníkového mostu	20
3.1. Model v prostředí AutoCAD:	20
3.2. Model v prostředí SCIA Engineer:	20
3.3. Popis konstrukce:	21
4. Použitý materiál a zařídění konstrukce	23
4.1. Materiál	23
4.2. Třída konstrukce	23
5. Zatížení	24
5.1. Stálé zatížení	24
5.2. Proměnné zatížení	30
5.3. Mimořádná zatížení	46
6. Kombinace	48
7. Vzpěrné délky	50
8. Globální analýza	53
8.1. Reakce	53
8.2. Posudek vybraných prutů - MSÚ	59
8.3. Posudek vybraných prutů - MSP	93
8.4. Posudek vybraných styčníků	95

9.	Výkaz použitého materiálu.....	109
10.	Porovnání přístupu americké a evropské normy k zatížení a kombinaci zatížení	110
10.1.	Sníh	110
10.2.	Vítr	111
10.3.	Seismicita	112
10.4.	Kombinace zatížení	112
11.	Závěr	114
12.	Zdroje	115
12.1.	Použitá literatura	115
12.2.	Podklady.....	115
13.	Seznam příloh	116
14.	Použitý software.....	117
15.	Seznam obrázků.....	118

Seznam použitého značení:

A	plocha průřezu	$[\text{mm}^2]$
A_s	plocha jádra šroubu	$[\text{mm}^2]$
$A_{v,y}$	smyková plocha ve směru Y	$[\text{mm}^2]$
$A_{v,z}$	smyková plocha ve směru Z	$[\text{mm}^2]$
A_w	smyková plocha svaru	$[\text{mm}^2]$
$B_{p,Rd}$	únosnost v protlačení	$[\text{MPa}]$
$B_{p,Rd,pa}$	únosnost v protlačení pásnice	$[\text{MPa}]$
$B_{p,Rd,pl}$	únosnost v protlačení plechu	$[\text{MPa}]$
C_1	součinitel závisející na zatížení a uložení konců	$[-]$
C_2	součinitel závisející na zatížení a uložení konců	$[-]$
C_3	součinitel závisející na zatížení a uložení konců	$[-]$
E	modul pružnosti v tahu a tlaku	$[\text{MPa}]$
$F_{b,Rd,pa,y}$	únosnost pásnice v otláčení ve směru Y	$[\text{MPa}]$
$F_{b,Rd,pa,z}$	únosnost pásnice v otláčení ve směru Z	$[\text{MPa}]$
$F_{b,Rd,pl,y}$	únosnost plechu v otláčení ve směru Y	$[\text{MPa}]$
$F_{b,Rd,pl,z}$	únosnost plechu v otláčení ve směru Z	$[\text{MPa}]$
$F_{t,Ed}$	zatížení jednoho šroubu v tahu	$[\text{kN}]$
F_{t,Ed,M_y}	vliv momentu M_y na zatížení šroubu v tahu	$[\text{kN}]$
F_{t,Ed,M_z}	vliv momentu M_z na zatížení šroubu v tahu	$[\text{kN}]$
$F_{t,Rd}$	únosnost jednoho šroubu v tahu	$[\text{kN}]$

$F_{v,Ed}$	zatížení šroubu ve smyku	
$F_{v,Rd}$	únosnost jednoho šroubu ve smyku	[kN]
G	modul pružnosti ve smyku	[MPa]
$I_{w,y}$	moment setrvačnosti svaru pro směr Y	[mm ⁴]
$I_{w,z}$	moment setrvačnosti svaru pro směr Z	[mm ⁴]
I_y	moment setrvačnosti průřezu pro směr Y	[mm ⁴]
I_z	moment setrvačnosti průřezu pro směr Z	[mm ⁴]
$L_{cr,y}$	kritická délka prutu pro směr Y	[m]
$L_{cr,z}$	kritická délka prutu pro směr Z	[m]
M_{cr}	pružný kritický moment	[kNm]
$M_{Ed,y}$	návrhový moment ve směru Y	[kNm]
$M_{Ed,z}$	návrhový moment ve směru Z	[kNm]
$M_{pl,y,Rd}$	rezistentní plastický návrhový moment ve směru Y	[kNm]
$M_{pl,z,Rd}$	rezistentní plastický návrhový moment ve směru Z	[kNm]
$M_{y,Rk}$	charakteristická rezistence v ohybu pro směr y-y	[kNm]
$M_{z,Rk}$	charakteristická rezistence v ohybu pro směr z-z	[kNm]
N	návrhová normálová síla	[kN]
$N_{b,y,Rd}$	rezistentní hodnota pro vzpěr ve směru Y	[kN]
$N_{b,z,Rd}$	rezistentní hodnota pro vzpěr ve směru Z	[kN]
$N_{c,Rd}$	rezistentní návrhové zatížení průřezu	[kN]
$N_{cr,y}$	kritická návrhová síla pro směr Y	[kN]

$N_{cr,z}$	kritická návrhová síla pro směr Z	[kN]
N_{Ed}	návrhové normálové zatížení průřezu	[kN]
N_{Rk}	charakteristická únosnost v tlaku	[kN]
N_{Rd}	návrhová únosnost v tlaku	[kN]
$V_{Ed,y}$	návrhová posouvající síla ve směru Y	[kN]
$V_{Ed,z}$	návrhová posouvající síla ve směru Z	[kN]
$V_{pl,y,Rd}$	rezistentní plastické návrhové zatížení průřezu ve směru Y	[kN]
$V_{pl,z,Rd}$	rezistentní plastické návrhové zatížení průřezu ve směru Z	[kN]
V_y	návrhová posouvající síla ve směru Y	[kN]
V_z	návrhová posouvající síla ve směru Z	[kN]
$W_{pl,y}$	plastický model průřezu ve směru Y	[mm ³]
$W_{pl,z}$	plastický model průřezu ve směru Z	[mm ³]
a_g	zatížení seismicitou podle Eurokodu	[g]
b	šířka mostovky	[m]
b	šířka průřezu	[mm]
b_1	délka hlavní části mostovky	[m]
b_2	délka přiléhající nižší části mostovky	[m]
c_f	součinitel síly pro nosné prvky s obdélníkovým průřezem	[-]
$c_{f,0}$	součinitel síly pro obdélníkové průřezy	[-]
c_{mLT}	součinitel ekvivalentního momentu v torzi	[-]
c_{my}	součinitel ekvivalentního momentu ve směru Y	[-]

c_{mz}	součinitel ekvivalentního momentu ve směru Z	[-]
d	výška mostovky	[m]
d_0	průměr díry pro šroub	[mm]
d_m	střední hodnota kružnice vepsané a opsané hlavy šroubu	[mm]
$e_{1,y}$	vzdálenost prvního šroubu ve směru působení Y	[mm]
$e_{1,z}$	vzdálenost prvního šroubu ve směru působení Z	[mm]
$e_{2,y}$	vzdálenost prvního šroubu kolmo na směr působení Y	[mm]
$e_{2,z}$	vzdálenost prvního šroubu kolmo na směr působení Z	[mm]
f_f	velikost zatížení pro otevřené průřezy	[kN/m]
f_{ub}	mez pevnosti šroubu	[MPa]
f_{yb}	mez kluzu šroubu	[MPa]
f_y	pevnost oceli v tahu a tlaku	[MPa]
h	výškový rozdíl zastřešení mostovky a plošiny	[m]
i_y	poloměr setrvačnosti průřezu pro směr y	[mm]
i_z	poloměr setrvačnosti průřezu pro směr z	[mm]
$k_{1,pa,y}$	součinitel pro otláčení ve směru Y pásnice	[-]
$k_{1,pa,z}$	součinitel pro otláčení ve směru Z pásnice	[-]
$k_{1,pk,y}$	součinitel pro otláčení ve směru Y pásnice	[-]
$k_{1,pl,z}$	součinitel pro otláčení ve směru Z plechu	[-]
k_2	součinitel pro únosnost v tahu	[-]
k_w	součinitel popisující okrajové podmínky v kroucení	[-]

k_y	součinitel vzpěrné délky	[-]
k_y	součinitel popisující okrajové podmínky v ohybu Y	[-]
k_{yy}	součinitel interakce	[-]
k_{yz}	součinitel interakce	[-]
k_z	součinitel popisující okrajové podmínky v ohybu Z	[-]
k_{zy}	součinitel interakce	[-]
k_{zz}	součinitel interakce	[-]
l_s	délka návěje	[m]
n	poměr návrhové a rezistentní normálové síly	[-]
$q_p(z)$	zatížení větrem	[kN/m ²]
s	zatížení sněhem	[kN/m ²]
s_1	zatížení seismicitou podle ASCE	[% g]
$s_{\mu 2, mod}$	zatížení sněhem pro návěj	[kN/m ²]
t_f	tloušťka stojiny	[mm]
t_w	tloušťka pásnice	
t_{max}	maximální návrhová teplota vzduchu	[°C]
t_{min}	minimální návrhová teplota vzduchu	[°C]
$u_{z, lim}$	limitní průhyb ve směru Z	[mm]
$w_{e, y}$	velikost zatížení větrem	[kN/m ²]
$w_{e, y, n}$	velikost zatížení větrem na návětrnou stranu mostovky	[kN/m ²]
$w_{e, y, z}$	velikost zatížení větrem na závětrnou stranu mostovky	[kN/m ²]

$w_{e,z}$	velikost vertikálního zatížení větrem	[kN/m ²]
$w_{e,z}$	velikost rozděleného vertikálního zatížení větrem	[kN/m ²]
z_g	vzdálenost působíště zatížení od středu smyku	[mm]
z_j	vzdálenost působíště zatížení od středu smyku	[mm]
$\Delta M_{y,Ed}$	momenty v důsledku posunu těžištní osy y-y	[kNm]
$\Delta M_{z,Ed}$	momenty v důsledku posunu těžištní osy z-z	[kNm]
Φ_y	hodnota pro výpočet součinitele vzpěrnosti χ pro směr Y	[-]
Φ_z	hodnota pro výpočet součinitele vzpěrnosti χ pro směr Z	[-]
α	sklon střechy (kapitola 5)	[°]
α	poměr plochy stojiny k neoslabenému průřezu (kapitola 8)	[-]
α	součinitel pro kombinovaný posudek (kapitola 8)	[-]
$\alpha_{b,pa,y}$	součinitel pro únosnost v otláčení pásnice ve směru Y	[-]
$\alpha_{d,pa,y}$	dílčí součinitel pro únosnost v otláčení pásnice ve směru Y	[-]
$\alpha_{b,pa,z}$	součinitel pro únosnost v otláčení pásnice ve směru Z	[-]
$\alpha_{d,pa,z}$	dílčí součinitel pro únosnost v otláčení pásnice ve směru Z	[-]
$\alpha_{b,pl,y}$	součinitel pro únosnost v otláčení plechu ve směru Y	[-]
$\alpha_{d,pl,y}$	dílčí součinitel pro únosnost v otláčení plechu ve směru Y	[-]
$\alpha_{b,pl,z}$	součinitel pro únosnost v otláčení plechu ve směru Z	[-]
$\alpha_{d,pl,z}$	dílčí součinitel pro únosnost v otláčení plechu ve směru Z	[-]
α_v	součinitel pro únosnost ve střihu šroubu	[-]
β	opravný součinitel pro křivky klopení válcovaných průř.	[-]

β_w	korelační součinitel podle třídy oceli	[-]
γ_{M0}	součinitel spolehlivosti	[-]
γ_{M1}	součinitel spolehlivosti	[-]
ζ_g	parametr působíště zatížení vzhledem ke středu smyku	[-]
ζ_j	parametr působíště zatížení vzhledem ke středu smyku	[-]
κ_{wt}	parametr kroucení	[-]
$\lambda_{rel,LT}$	poměrná štíhlost při klopení	[-]
$\lambda_{rel,y}$	relativní štíhlost pro směr Y	[-]
$\lambda_{rel,z}$	relativní štíhlost pro směr Z	[-]
λ_y	poměr kritické délky a poloměru setrvačnosti pro směr Y	[-]
λ_z	poměr kritické délky a poloměru setrvačnosti pro směr Z	[-]
μ	Poissonův součinitel	[-]
μ_2	tvarový součinitel zatížení sněhem	[-]
$\mu_{2,mod}$	tvarový součinitel zatížení sněhem pro návěj	[-]
μ_{cr}	kritický moment	[-]
μ_w	tvarový součinitel návěje	[-]
$\sigma_{M,y,p}$	výsledné napětí svaru pásnice pro sílu v Y	[MPa]
$\sigma_{M,y,s}$	výsledné napětí svaru stojiny pro sílu v Y	[MPa]
$\sigma_{M,z,p}$	výsledné napětí svaru pásnice pro sílu v Z	[MPa]
$\sigma_{M,z,s}$	výsledné napětí svaru stojiny pro sílu v Z	[MPa]
$\sigma_{\perp,y,p}$	normálové napětí kolmé na svar pásnice pro sílu v Y	[MPa]

$\sigma_{\perp,y,s}$	normálové napětí kolmé na svar stojiny pro sílu v Y	[MPa]
$\sigma_{\perp,z,p}$	normálové napětí kolmé na svar pásnice pro sílu v Z	[MPa]
$\sigma_{\perp,z,s}$	normálové napětí kolmé na svar stojiny pro sílu v Z	[MPa]
$\tau_{\parallel,p}$	smykové napětí rovnoběžné se svarem pásnice	[MPa]
$\tau_{\parallel,s}$	smykové napětí rovnoběžné se svarem stojiny	[MPa]
$\tau_{\perp,y,p}$	smykové napětí kolmé na svar pásnice pro sílu v Y	[MPa]
$\tau_{\perp,y,s}$	smykové napětí kolmé na svar stojiny pro sílu v Y	[MPa]
$\tau_{\perp,z,p}$	smykové napětí kolmé na svar pásnice pro sílu v Z	[MPa]
$\tau_{\perp,z,s}$	smykové napětí kolmé na svar stojiny pro sílu v Z	[MPa]
χ_y	součinitel vzpěrnosti pro vybočení ve směru Y	[-]
χ_z	součinitel vzpěrnosti pro vybočení ve směru Z	[-]
ψ_{LT}	poměr koncových momentů v torzi	[-]
ψ_r	redukční součinitel pro čtvercové průřezy	[-]
ψ_y	poměr koncových momentů ve směru Y	[-]
ψ_z	poměr koncových momentů ve směru Z	[-]
ψ_{λ}	součinitel koncového efektu	[-]

1. Úvod

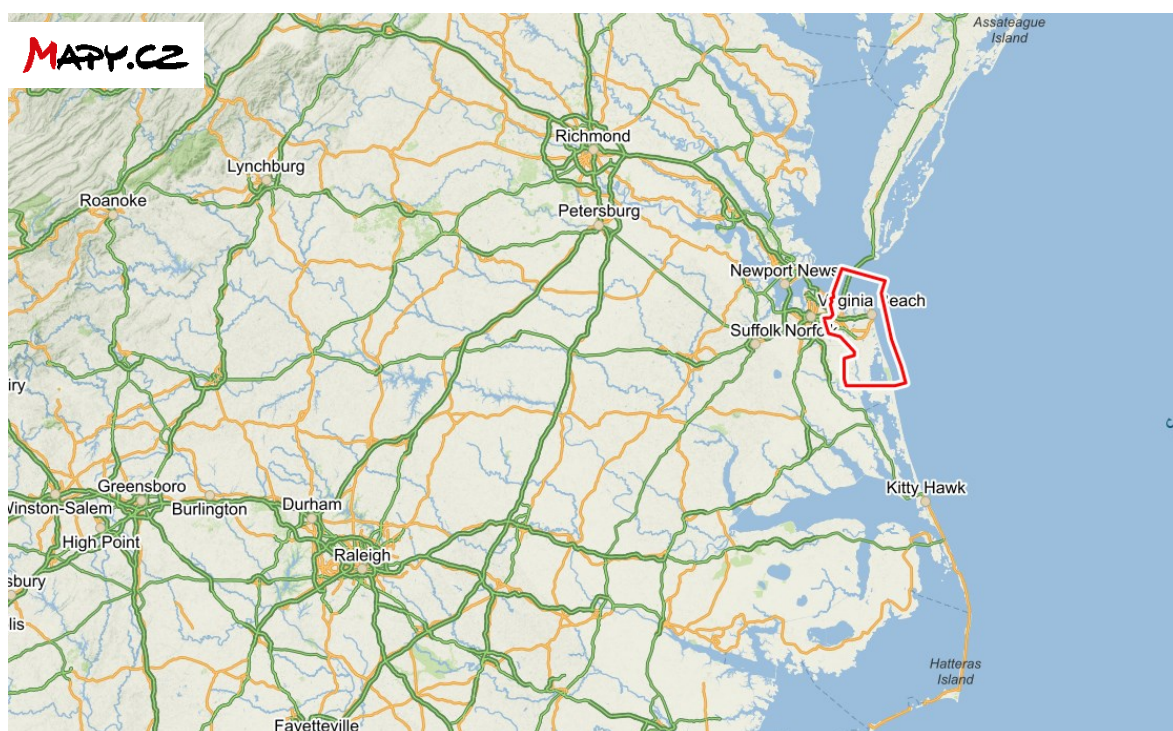
Cílem práce je statický posudek dopravníkového mostu zadané geometrie ve formátu základních výkresů a 3D geometrie (PDF). Podklady byly dodány společností Institut ocelových konstrukcí, spol. s.r.o. (dále IOK) včetně technologického zatížení[10] . V programu AutoCAD je vytvořena čárová konstrukce rozdělená do hladin dle průřezů, následně tato geometrie je importována do programu SCIA Engineer, kde je automaticky zatížena vlastní váhou podle normy [2] . Další zatížení jsou dodána zatížení společností IOK a to konkrétně vlastní tíha technologie, vlastní tíha trapézových plechů, užité zatížení technologie, užité zatížení plošin a napnutí dopravníkového pásu. Následně jsou dle zadaných údajů vypočítány zatížení sněhem a větrem podle norem [3] [4] . Vstupní hodnoty těchto zatížení jsou rovněž dodány společností IOK, přístup k zatížení je v této práci popsán. Zatížení seismicitou se neuvažuje, viz dále v textu. Toto zatížení je kombinováno pomocí programu SCIA Engineer v souladu s normou [1] . V práci je také popsán posudek jednotlivých průřezů podle normy [5] a posudek vybraných styčníků podle normy [6] . V závěru práce je krátká studie, ve které je porovnání evropského a amerického přístupu k zatížení a ke kombinaci zatížení.

2. Umístění konstrukce

Konstrukce je umístěna ve Spojených státech amerických ve státě Virginie, ve městě Virginia Beach. Dopravníkový most překlenuje blíže nespecifikovanou dálnici.



Obrázek 1: Umístění konstrukce (Zdroj: Mapy.cz)

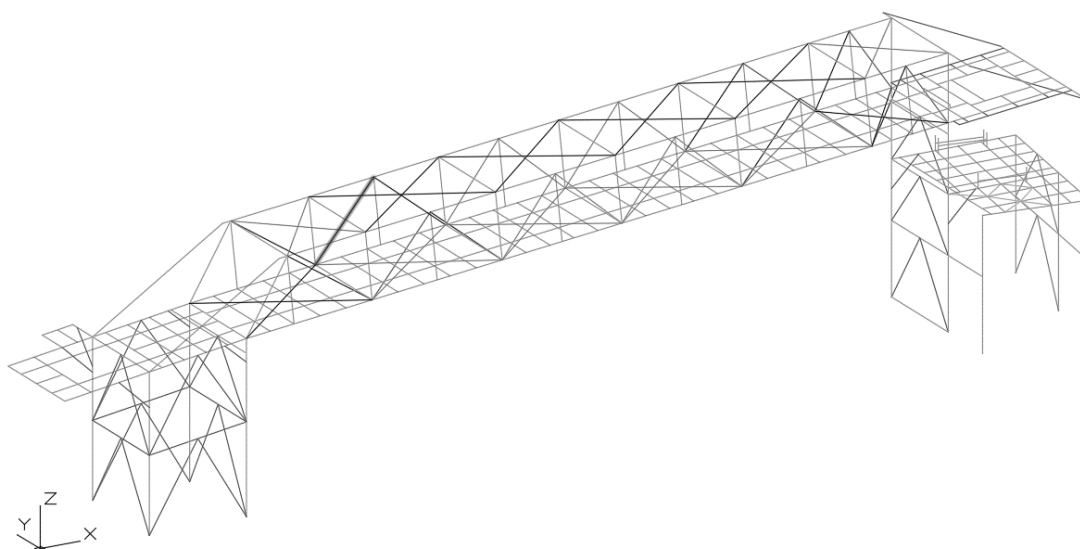


Obrázek 2: Umístění konstrukce (Zdroj: Mapy.cz)

3. Model dopravníkového mostu

3.1. Model v prostředí AutoCAD:

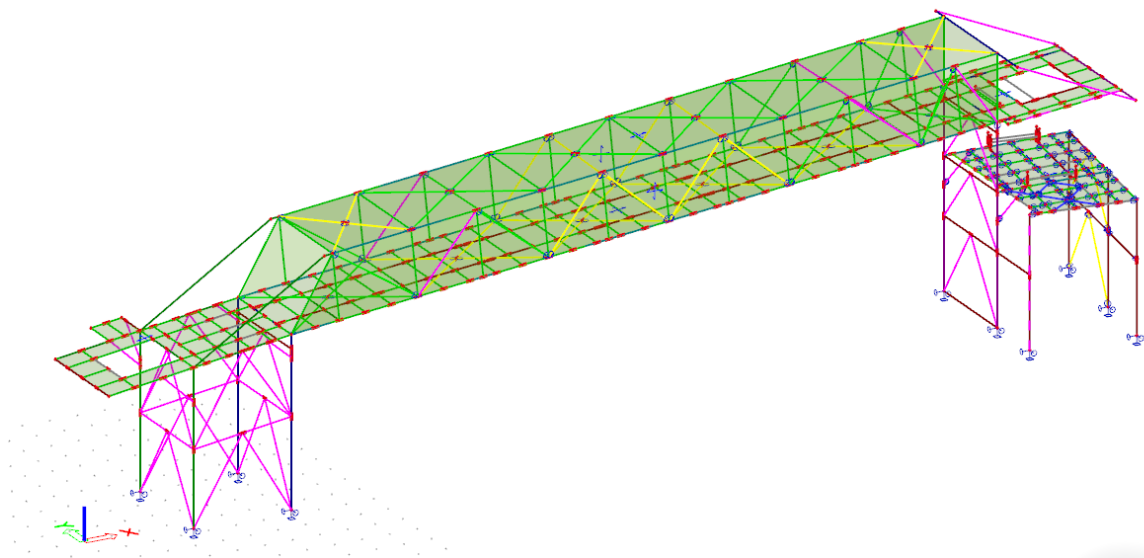
Z důvodu složitosti konstrukce je využit grafický software AutoCAD pro základní geometrii konstrukce, který pro jednodušší konstrukce je zbytečné využívat, zde však je jeho použití pohodlnější a rychlejší. Tato základní geometrie byla vytvořena z podkladů [10], kde je zohledněno mimo samotné geometrie i použití průřezů jednotlivých prutů. Následně je tento model importován do programu SCIA Engineer.



Obrázek 3: Prutový model v programu AutoCAD

3.2. Model v prostředí SCIA Engineer:

Model po importu do programu SCIA Engineer je doplněn o podpory a klouby a jsou u něho zkontrolovány, resp. nastaveny systémové délky a parametry vzpěru. Dále jsou umístěny zatěžovací panely pro zatížení v místě plošných prvků.



Obrázek 4: Prutový model se zatěžovacími panely v programu SCIA Engineer

3.3. Popis konstrukce:

Konstrukce je tvořena ocelovými pruty, průřezů pak konstrukce obsahuje 10. Popisován je Obrázek 4 této práce.

Levá podpěra je tvořena v její bližší části k počátku souřadného systému dvojicí noh o průřezu HEA200, ve vzdálenější části z HEB220. Prostorové zavětrování nohy je tvořeno průřezy HEA140.

Pravá podpěra je tvořena dvěma pruty HEB240 s vodorovným ztužením HEA160 a diagonálami z HEA140. K této noze přiléhá plošina, jejíž nohy tvoří čtveřice noh navazujících na konstrukci mostu a jsou tvořeny z HEA160. Vodorovné prvky ztužení jsou také z HEA160 a diagonální pomocí L100x12. Horní rám plošiny tvoří rámová konstrukce s vnitřními klouby tvořená převážně pomocí IPE140, dále HEA160, HEB200 a ztužením v rovině rámu L60x8.

Mostovku tvoří ve spodní části rámová desková konstrukce na níž nad dálnicí je příhradová konstrukce. Podélný vazník mostovky v levé části je tvořen dvojicí HEA200 zakončených HEA160. Navazující nosníky nad dálnicí jsou HEB200 přecházející v levé části nad podpěrou v průřezy HEB220, zakončené HEB240. Rozšíření je provedeno z HEA140. Nad dálnicí je spodní deska rozšířena o horní příhradovou konstrukci. Tato konstrukce má hlavní nosné prvky rámově uspořádané v místě spodního styku diagonál. Tyto rámy jsou ve spodní části z HEA200, navazující horní část pak z HEA160. Podélné

nosníky jsou z HEB200 stejně jako je tomu ve spodní části. Pro usazení plechů je využito mezi hlavní nosné prvky převážně IPE140, dále v menší míře HEA160. Tlačené diagonály v krajích mostovky jsou tvořeny pomocí HEA140, tažené z L120x12 a v prostřední části pouze L100x12. Ztužení spodní části mostovky je provedeno křížem mezi rámy konstrukce z L100x12, pouze krajní ztužení je z L120x12. V horní části mostovky je ztužení z L120x12 ve střední části a v krajích z L100x12. Levá část je připojena k podpěře pruty HEA200, pravá část mostovky je od podpěry po její konec nesena dvojicí HEA140.

Po statické stránce je konstrukce desetkrát podepřena kloubovou podporou. Čtyřikrát u levé podpěry, dvakrát u pravé podpěry a čtyřikrát je podepřena plošina přiléhající k pravé podpěře. Levou podpěru tvoří prostorový rám s výztužnými prvky, pravou podpěru tvoří rovinná rámová konstrukce také s výztužnými prvky. Plošina přiléhá k podpěře a je s ní tuze spojena. Plošina samotná je tvořena prvky spojenými vesměs kloubově, v části je použito diagonální ztužení. Nohy plošiny mají v jedné části ztužení pro její podélný směr (delší rozměr), pro příčný směr plošina není ztužena. Mostovka je tvořena deskovou prutovou konstrukcí, ve které nejsou použity kloubové přípoje. Mezi podpěrami je rozšířena o prostorovou příhradovou konstrukci s využitím tažených a tlačených diagonál. Obecně tažené diagonály jsou připojeny kloubově, tlačené pak tuze. Mezi hlavními rámy příhradové konstrukce v její horní i dolní ploše jsou ztužidla z L profilů připojena kloubově. Ve své pravé části je prodloužení mostovky drženo pruty vycházející z horní části příhradové konstrukce. Mostovka je ve své levé části připojena k podpěře tuze, v pravé části k podpěře kloubově.

4. Použitý materiál a zatřídění konstrukce

4.1. Materiál

Ocel: S235JR

Šrouby: 8.8

4.2. Třída konstrukce

Třída následků: CC3

Výrobní kategorie: PC1

Kategorie použitelnosti: SC1

Třída provedení: EXC3

5. Zatížení

V podkladech [10] byla zadána některá stálá i proměnná zatížení. Zatížení sněhem a větrem je aplikováno podle zadaných parametrů. Seismickému zatížení je věnována poslední část tohoto celku.

Zatěžovací stavy								
Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení	Typ zatížení	Spec	Směr	Působení	Řídící zat. stav
<i>*Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze*</i>								
ZS1	Vlastní tíha	Stálé	SZ1-stale	Vlastní tíha		-Z		
ZS2	Vlastní tíha trapez	Stálé	SZ1-stale	Standard				
ZS3-2	Stale-napnutí pasu	Stálé	SZ1-stale	Standard				
ZS3-1	Vlastní tíha technologie	Stálé	SZ1-stale	Standard				
ZS4-4	Užitne 4	Proměnné	SZ2-uzitne	Statické	Standard		Krátkodobé	Žádný
ZS4-5	Užitne 5	Proměnné	SZ2-uzitne	Statické	Standard		Krátkodobé	Žádný
ZS4-3	Užitne 3	Proměnné	SZ2-uzitne	Statické	Standard		Krátkodobé	Žádný
ZS4-1	Užitne 1	Proměnné	SZ2-uzitne	Statické	Standard		Krátkodobé	Žádný
ZS4-2	Užitne 2	Proměnné	SZ2-uzitne	Statické	Standard		Krátkodobé	Žádný
ZS5	Material	Proměnné	SZ3-material	Statické	Standard		Krátkodobé	Žádný
ZS6-1	Teplota oteplení	Proměnné	SZ6-teplota	Statické	Standard		Krátkodobé	Žádný
ZS6-2	Teplota ochlazení	Proměnné	SZ6-teplota	Statické	Standard		Krátkodobé	Žádný
ZS7-2	Snih 2	Proměnné	SZ4-snih	Statické	Standard		Krátkodobé	Žádný
ZS7-3	Snih 3	Proměnné	SZ4-snih	Statické	Standard		Krátkodobé	Žádný
ZS7-1	Snih 1	Proměnné	SZ4-snih	Statické	Standard		Krátkodobé	Žádný
ZS7-5	Snih 5 - spodní navej	Proměnné	SZ4-snih	Statické	Standard		Krátkodobé	Žádný
ZS7-4	Snih 4	Proměnné	SZ4-snih	Statické	Standard		Krátkodobé	Žádný
ZS8-2	Vitr-x +cfz	Proměnné	SZ5-vitr	Statické	Standard		Krátkodobé	Žádný
ZS8-1	Vitr-x -cfz	Proměnné	SZ5-vitr	Statické	Standard		Krátkodobé	Žádný
ZS9-1	Vitr-x -cfz	Proměnné	SZ5-vitr	Statické	Standard		Krátkodobé	Žádný
ZS9-2	Vitr-x +cfz	Proměnné	SZ5-vitr	Statické	Standard		Krátkodobé	Žádný
ZS10-1	Vitr-y -cfz	Proměnné	SZ5-vitr	Statické	Standard		Krátkodobé	Žádný
ZS10-2	Vitr-y +cfz	Proměnné	SZ5-vitr	Statické	Standard		Krátkodobé	Žádný
ZS11-2	Vitr-y +cfz	Proměnné	SZ5-vitr	Statické	Standard		Krátkodobé	Žádný
ZS11-1	Vitr-y -cfz	Proměnné	SZ5-vitr	Statické	Standard		Krátkodobé	Žádný

Obrázek 5: Seznam zatěžovacích stavů vygenerovaný ze softwaru SCIA Engineer

Skupiny zatížení			
Jméno	Zatížení	Vztah	Typ
<i>*Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze*</i>			
SZ1-stale	Stálé		
SZ2-uzitne	Proměnné	Standard	Kat E : sklady
SZ3-material	Proměnné	Standard	Kat E : sklady
SZ4-snih	Proměnné	Standard	Snih
SZ5-vitr	Proměnné	Výběrová	Vítr
SZ6-teplota	Proměnné	Výběrová	Teplota

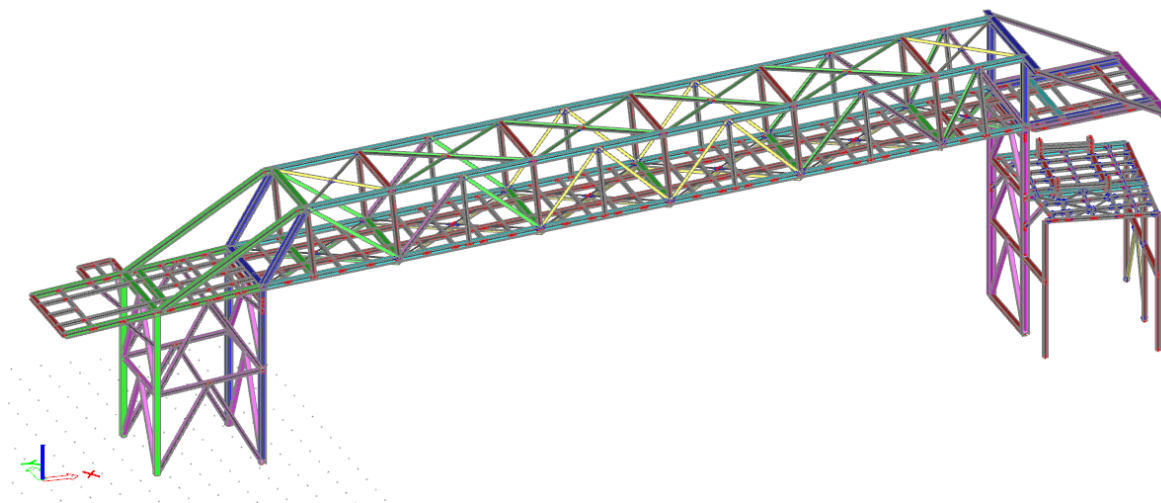
Obrázek 6: Seznam skupin zatížení vygenerovaný ze softwaru SCIA Engineer

5.1. Stálé zatížení

Stálé zatížení je značeno obecně v evropských normách G, jejich součinitelé (zpravidla γ) mají v dolním indexu uvedeno G.

I. Zatížení vlastní tíhou (ZS1)

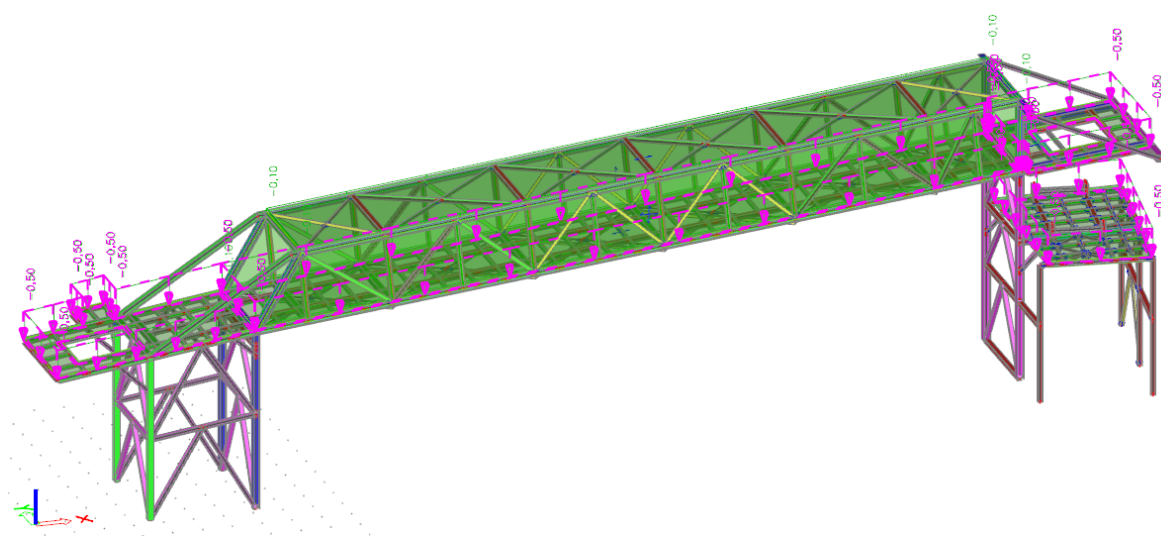
Zatížení vlastní tíhou je generováno podle průřezu programem SCIA Engineer.



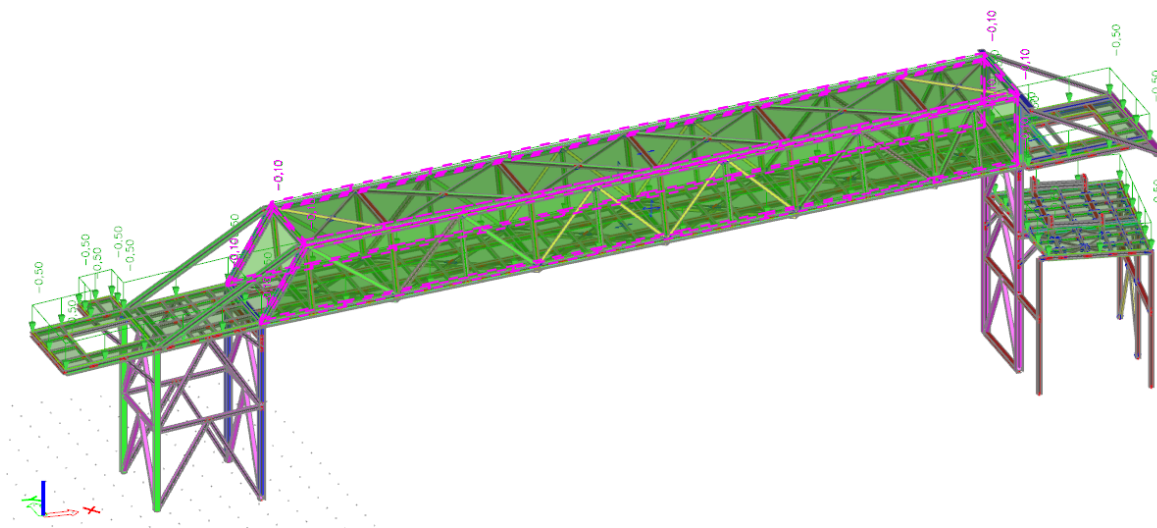
Obrázek 7: Model konstrukce z něhož je počítána vlastní váha

II. Vlastní tíha trapézového plechu (ZS2)

Vlastní tíha trapézového plechu je dodána v podkladech [10] . Vlastní tíha činí pro pochozí plochy $0,50 \text{ kN/m}^2$, pro opláštění mostovky je $0,10 \text{ kN/m}^2$. Zatížení je uvažováno v jednom zatěžovacím stavu.



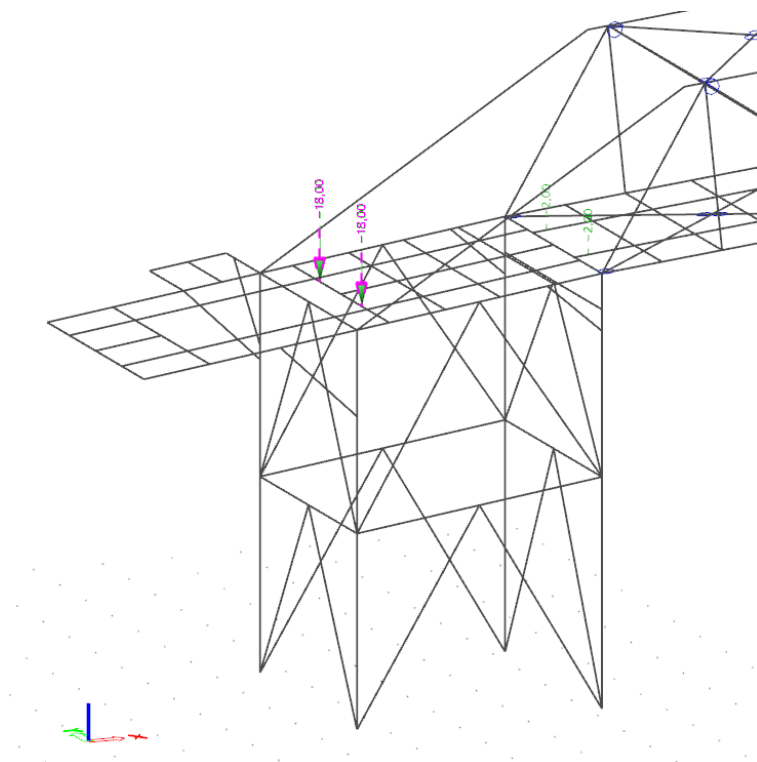
Obrázek 8: Vlastní váha trapézu – $0,50 \text{ kN/m}^2$



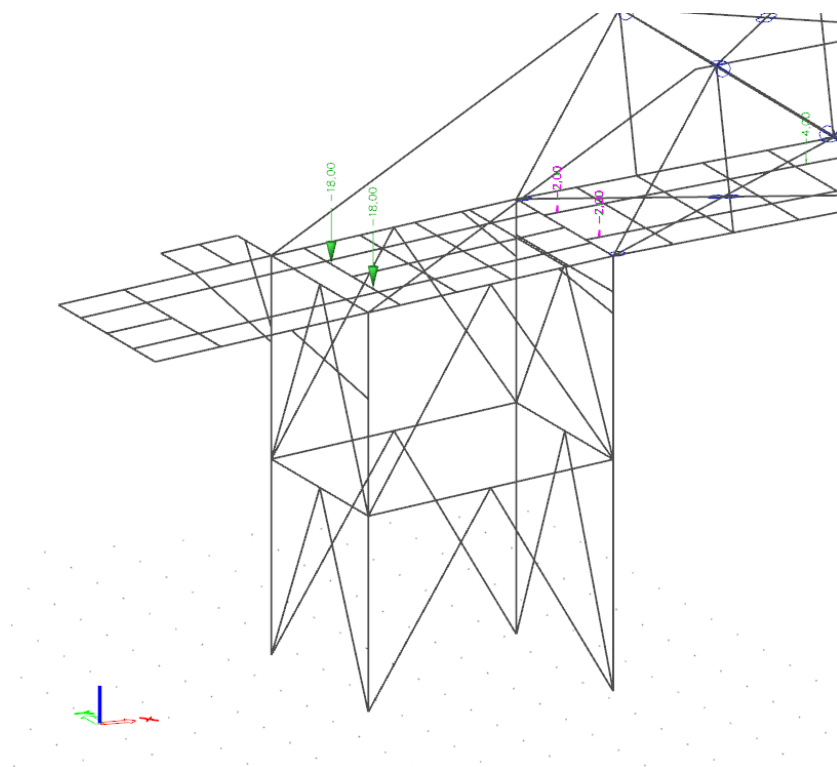
Obrázek 9: Vlastní váha trapézu – 0,10 kN/m²

III. Vlastní tíha technologie (ZS3-1)

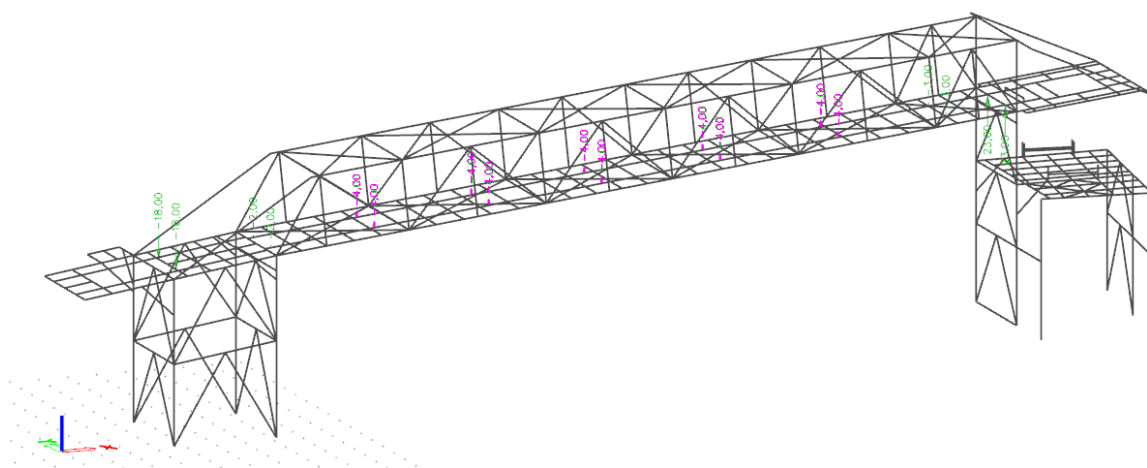
Vlastní tíha technologie je dodána v podkladech [10] o směru vzhůru (+Z) 23 kN a směru dolů (-Z) 2 kN, 3 kN, 4 kN a 18 kN. Zatížení je uvažováno v jednom zatěžovacím stavu.



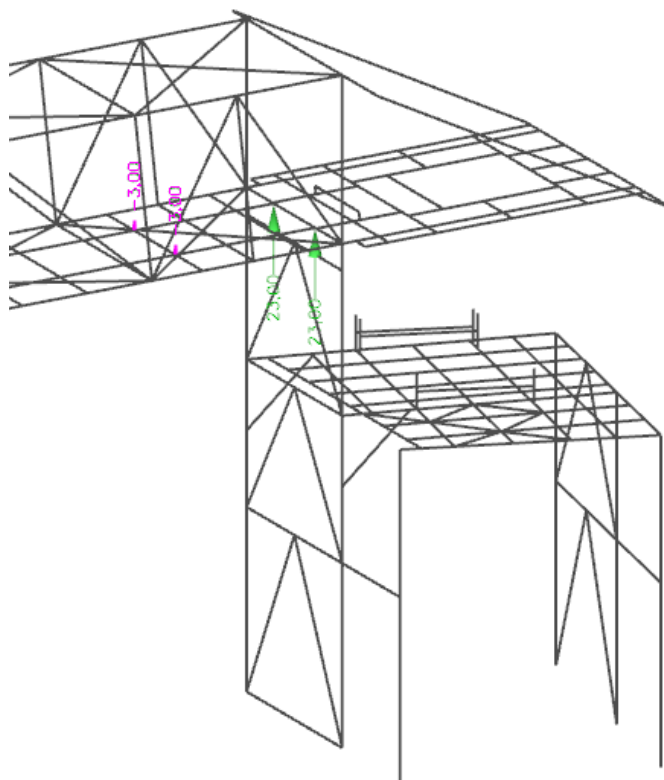
Obrázek 10: Vlastní tíha technologie – 18 kN



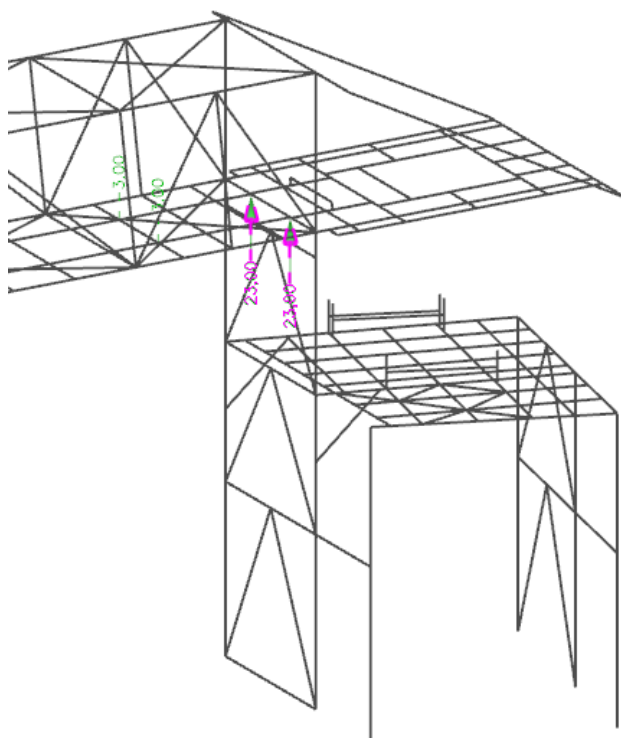
Obrázek 11: Vlastní tíha technologie – 2 kN



Obrázek 12: Vlastní tíha technologie – 4 kN



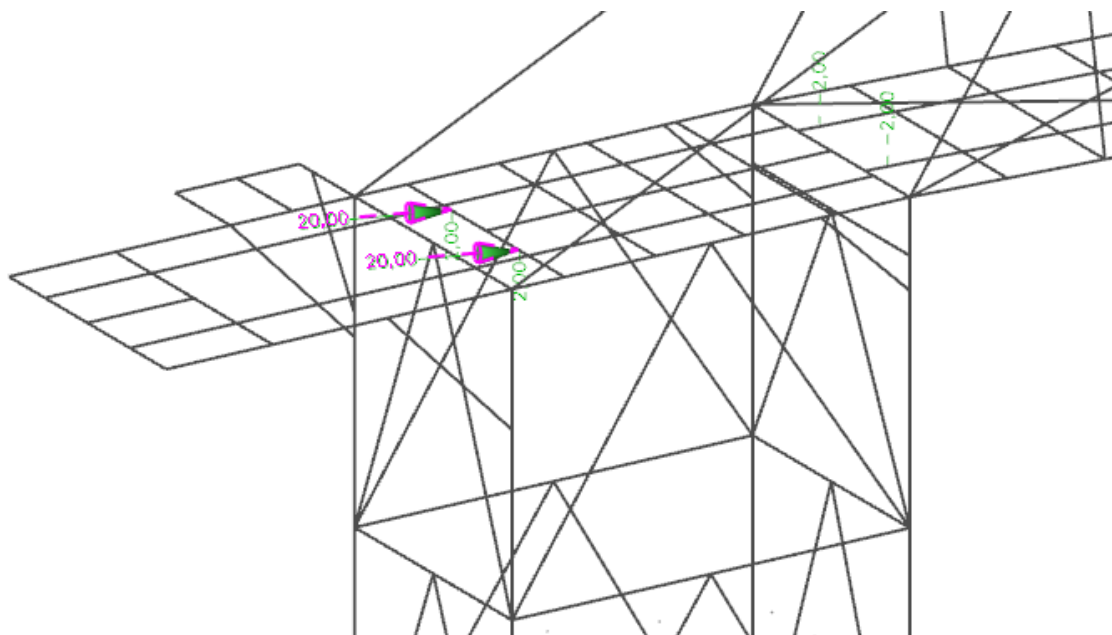
Obrázek 13: Vlastní tíha technologie – 3 kN



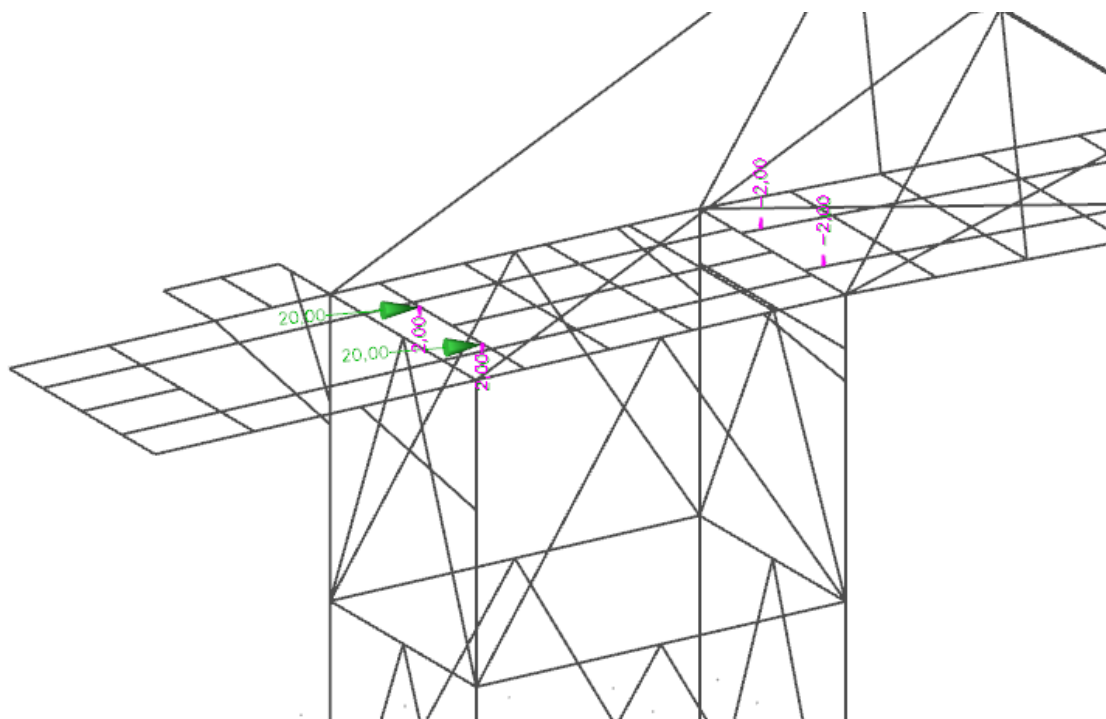
Obrázek 14: Vlastní tíha technologie – 23 kN

IV. Napnutí pásu (ZS3-2)

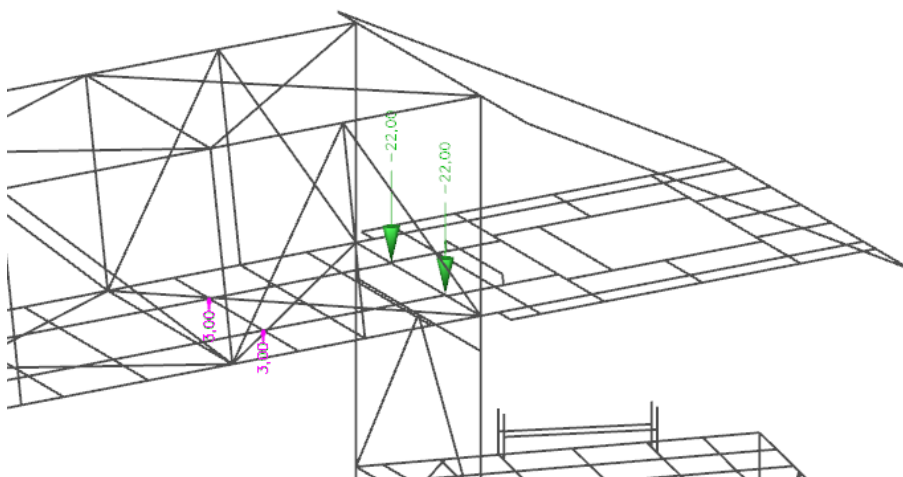
Napnutí pásu je dodána v podkladech [10] o velikostech 2 kN, 3 kN, 20 kN a 22 kN. Zatížení je uvažováno v jednom zatěžovacím stavu.



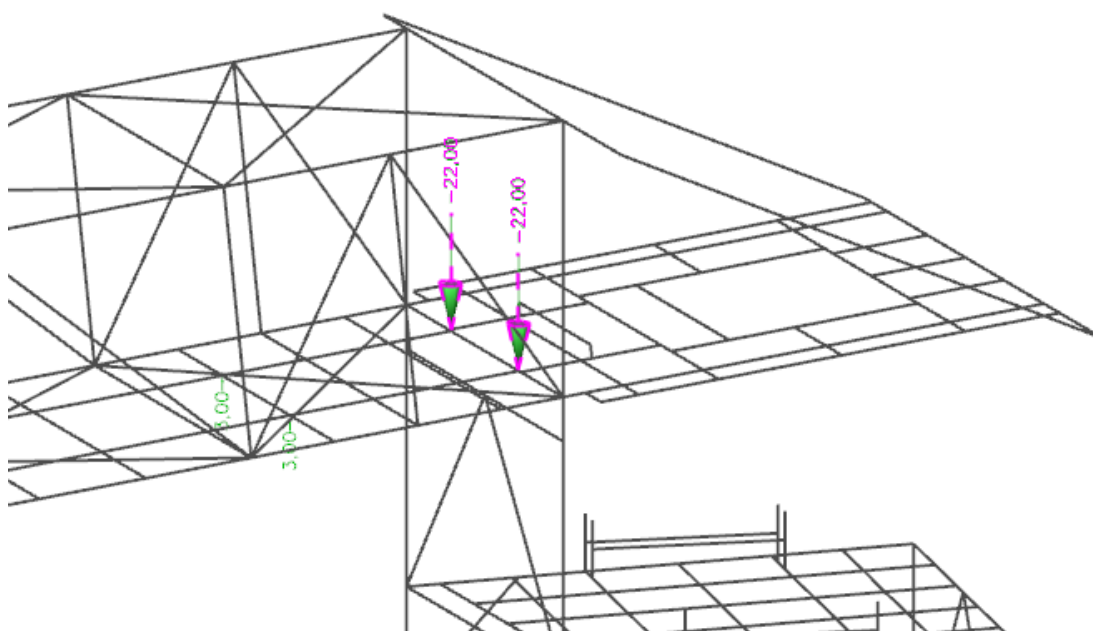
Obrázek 15: Napnutí pásu – 20 kN



Obrázek 16: Napnutí pásu – 2 kN



Obrázek 17: Napnutí pásu – 3 kN



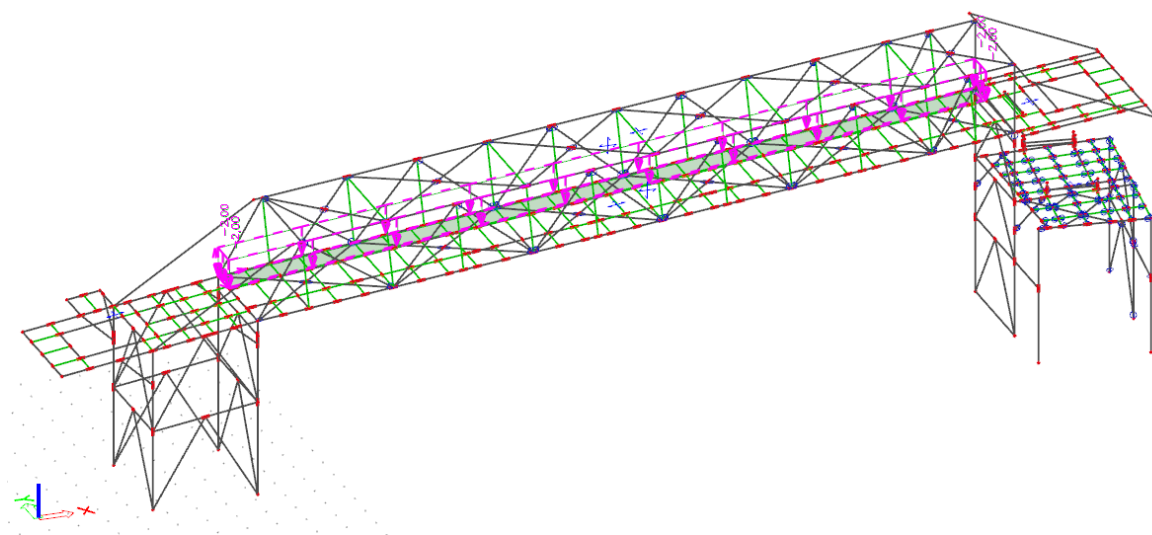
Obrázek 18: Napnutí pásu – 22 kN

5.2. Proměnné zatížení

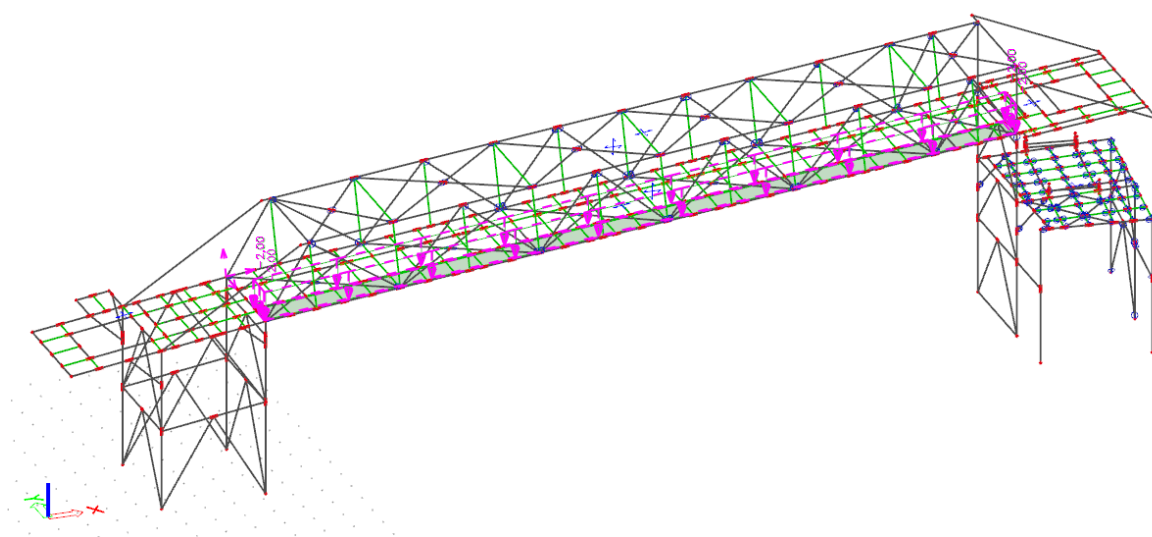
Stálé zatížení je značeno obecně v evropských normách Q , jejich součinitelé (zpravidla γ) mají v dolním indexu uvedeno Q .

V. Užitné (ZS4)

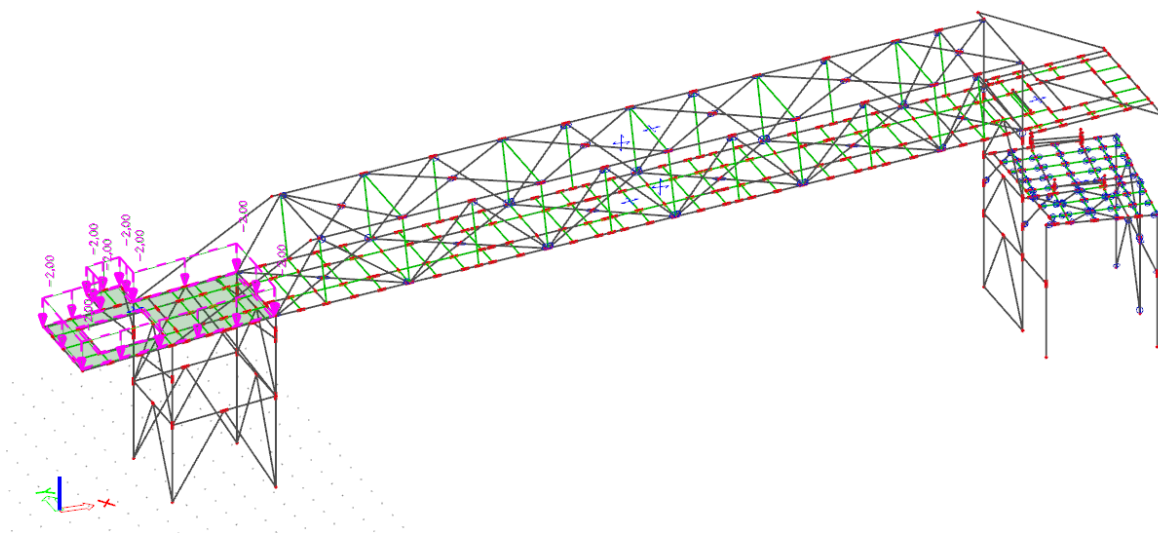
Užitné zatížení je uvažováno v pěti zatěžovacích stavech, které se vzájemně kombinují, kdy každý zatěžovací stav obsahuje hodnotu zatížení 2 kN/m^2 .



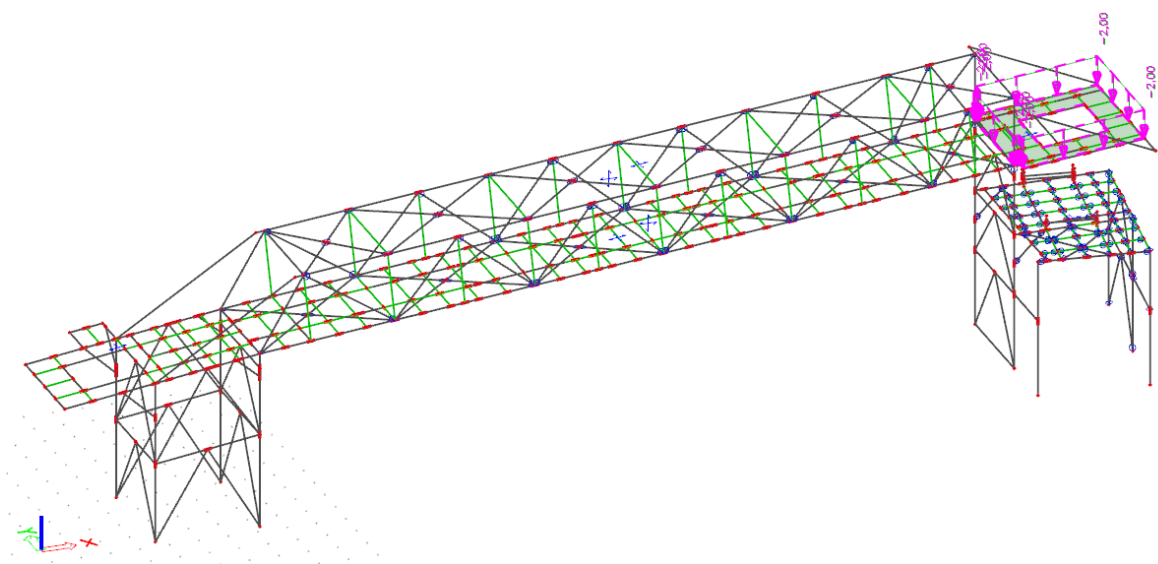
Obrázek 19: Užitné zatížení – 1. stav (ZS4-1)



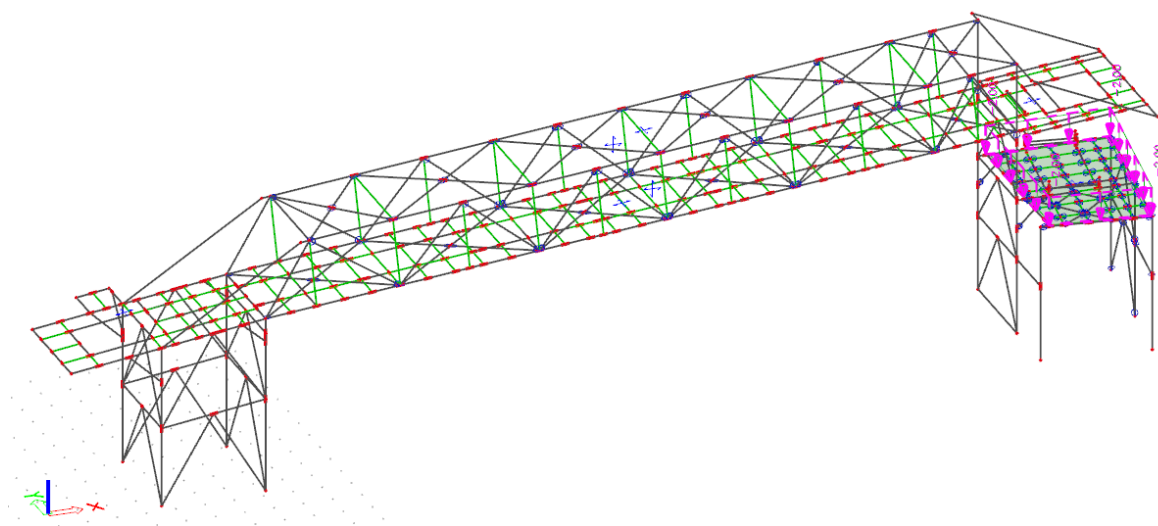
Obrázek 20: Užitné zatížení – 2. stav (ZS4-2)



Obrázek 21: Užitné zatížení – 3. stav (ZS4-3)



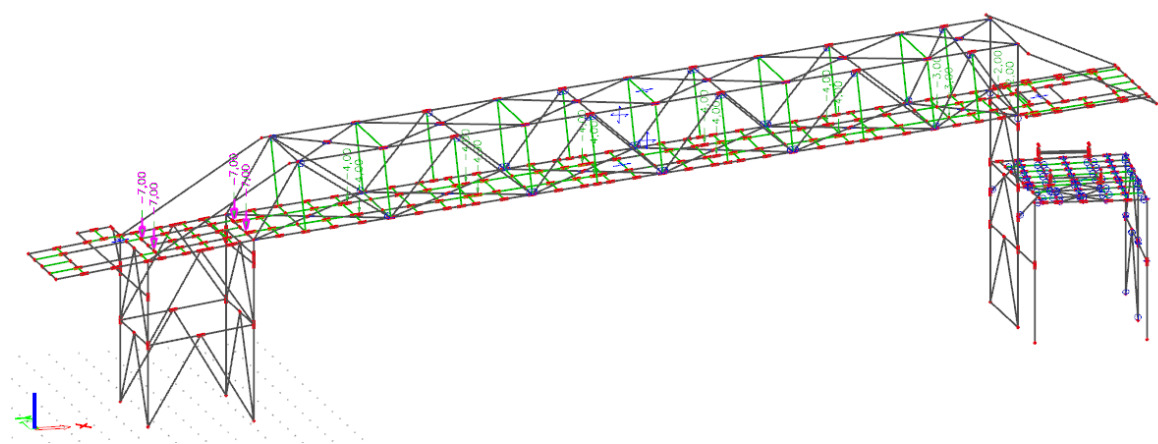
Obrázek 22: Užitné zatížení – 4. stav (ZS4-4)



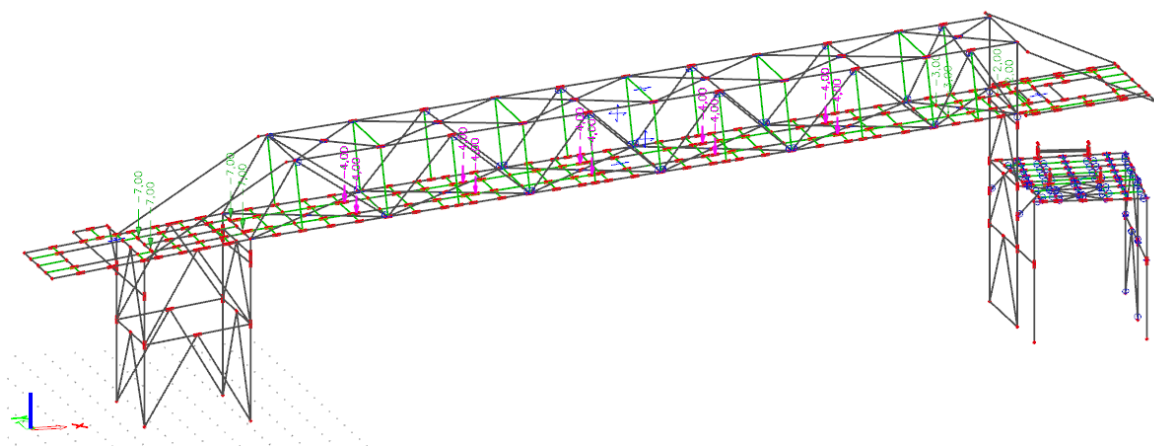
Obrázek 23: Užitné zatížení – 5. stav (ZS4-5)

VI. Materiál (ZS5)

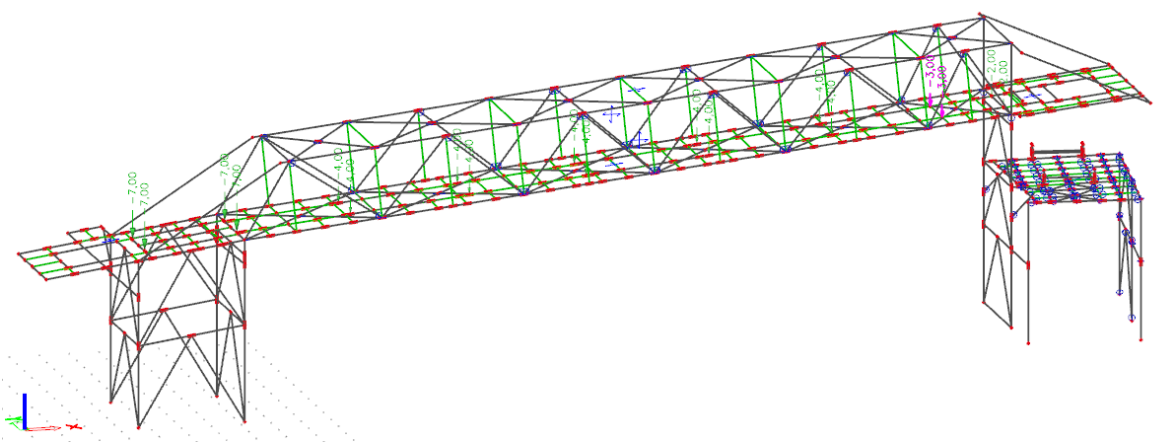
Zatížení od přepravovaného materiálu je bráno jako statické zatížení s proměnným působením. Zatížení samotné je definováno v podkladech [10]. Zatížení jsou bodová o velikostech 7 kN, 4 kN, 3 kN a 2 kN.



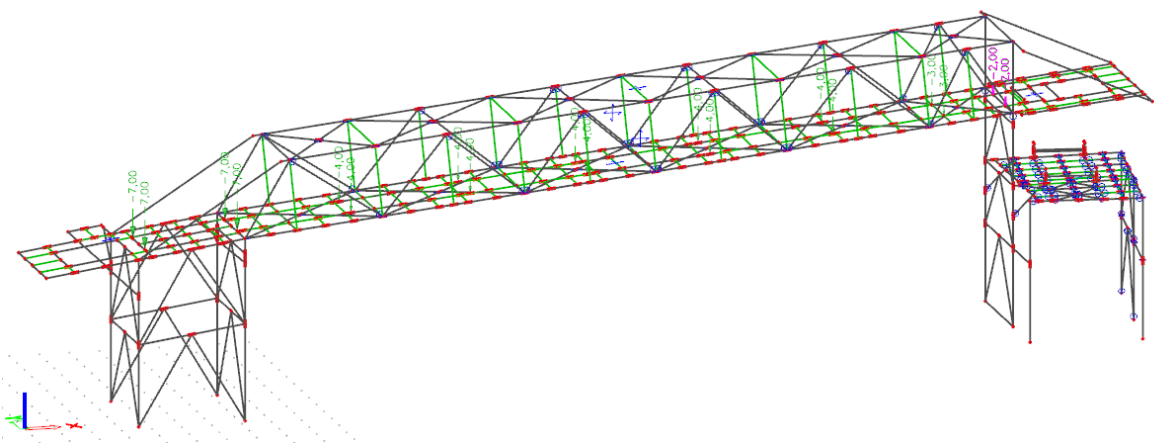
Obrázek 24: Zatížení materiálem – 7 kN



Obrázek 25: Zatížení materiálem – 4 kN



Obrázek 26: Zatížení materiálem – 3 kN



Obrázek 27: Zatížení materiálem – 2 kN

VII. Zatížení teplotou (ZS6)

Zatížení teplotou se uvažuje rovnoměrné při $t_{\min} = -10^{\circ}\text{C}$ a $t_{\max} = 35^{\circ}\text{C}$. Rozdíl teplot je brán tedy 45°C a to pro celou konstrukci rovnoměrně jak pro kladnou hodnotu, tedy oteplení o 45°C (ZS6-1), tak i zápornou hodnotu, tedy ochlazení o 45°C (ZS6-2).

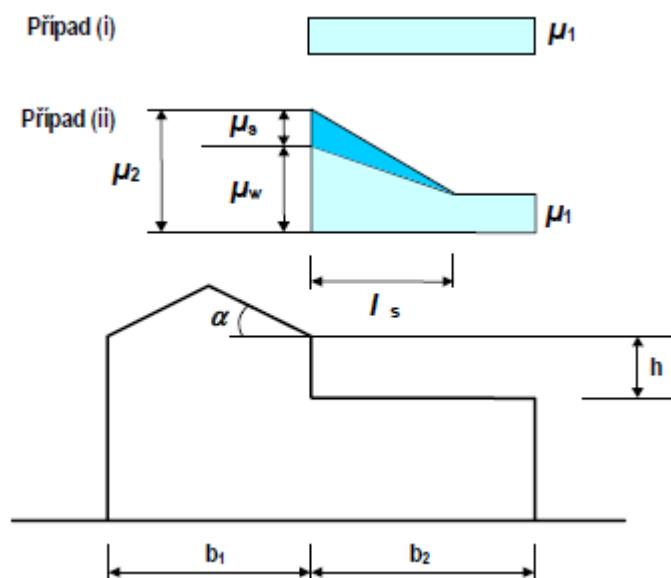
VIII. Zatížení sněhem (ZS7)

Velikost zatížení sněhem je brána podle hodnoty z podkladů [10], kde je počítáno podle americké normy [9]. Hodnota americké normy p_f je ekvivalentem hodnoty evropské normy s , tedy charakteristické hodnoty zatížení sněhem na střeše, viz **Porovnání přístupu americké a evropské normy k zatížení a kombinaci zatížení**. Zatížení samotné je v pěti stavech, které se vzájemně kombinují.

<u>Snow load:</u>		due to ASCE 7-16; Chapter 7	
(Virginia Beach, USA)			
ground snow			
	$p_g = 10 \text{ psf} + 5 \text{ psf} =$	15,00 psf	
	$p_g =$	0,72 kPa (kN/m ²)	(Fig. 7.2-1)
	$a = 0,0^{\circ} \leq 5^{\circ}$		
Exposure Factor		Terrain Category B/C	
	$C_e = 0,9$		(Table 7.3-1)
Thermal Factor			
	$C_t = 1,2$		(Table 7.3-2)
Importance factor		Occupancy Category II	
	$I_s = 1,0$		(Table 1.5-2)
	$p_f = 0,7 * C_e * C_t * I_s * p_g$		formula (7-1)
	$= 0,7 * 0,9 * 1,2 * 1 * 0,72 =$	0,54 kN/m ²	

Obrázek 28: Zatížení sněhem z podkladů [10]

K plošnému zatížení je uvažována návěj na spodní části mostovky. Výpočet návěje odpovídá výpočtu v normě [3]. Objemová tíha sněhu γ je tedy rovna $2,0 \text{ kN/m}^3$.



Obrázek 29: Obrázek pro zatížení návějí z normy [3]

Šířka $b_1 = 24,15 \text{ m}$ (1)

Šířka $b_2 = 8,55 \text{ m}$ (2)

Výška $h = 2,36 \text{ m}$ (3)

Délka $l_s = 2 * h = 2 * 2,36 = 4,72 \text{ m}$ (4)

Omezení normou [3] : $5 \text{ m} \leq l_s \leq 15 \text{ m} \Rightarrow l_s = 5 \text{ m}$

Tvarový součinitel zatížení podle rovnice (5.8) normy [3] pro $\alpha \leq 15^\circ$ je $\mu_s = 0$.

$$\mu_w \quad \mu_w = (b_1 + b_2)/2 * h = (24,15 + 8,55)/2 * 2,36 = 6,928$$

$$< \gamma * h/s_k = 2 * 2,36/0,54 = 8,74$$

(5)

Omezení normou [3] : $0,8 \leq \mu_w \leq 4,0 \Rightarrow \mu_w = 4,0$

$$\mu_2 \quad \mu_2 = \mu_s + \mu_w = 0 + 4,0 = 4,0$$

(6)

Pro vytvoření kombinačního stavu je ještě třeba odečíst od μ_2 hodnotu μ_1 , aby mohl být vytvořen samostatný stav.

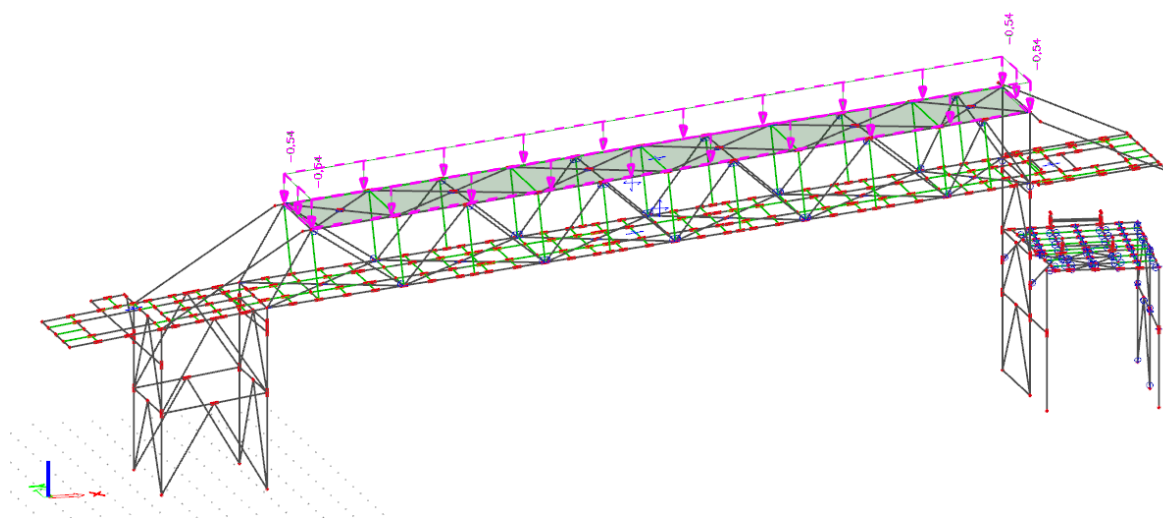
$$\mu_{2,mod} \quad \mu_{2,mod} = \mu_2 + \mu_1 = 4,0 - 0,8 = 3,2$$

(7)

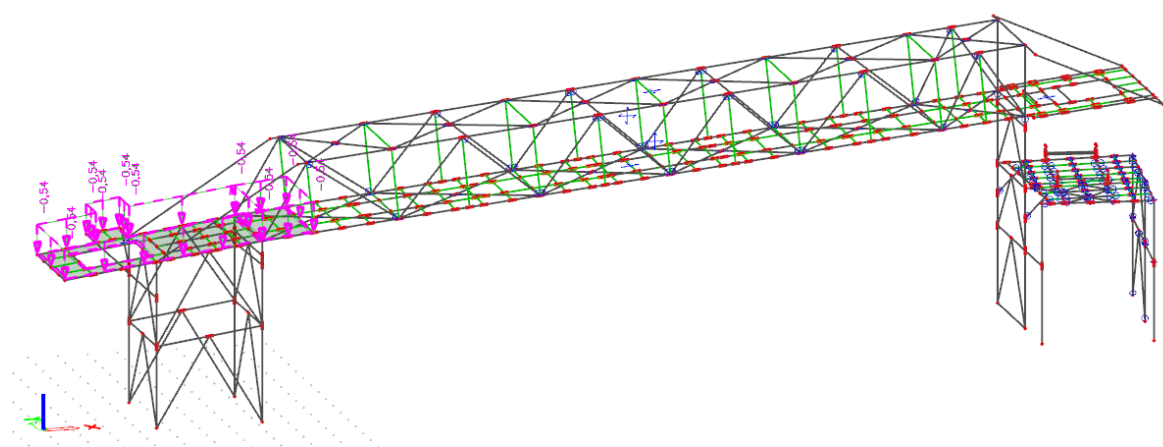
Návěj

$$s_{\mu_{2,mod}} = \mu_{2,mod} * s = 3,2 * 0,54 = 1,728 \text{ kN/m}^2$$

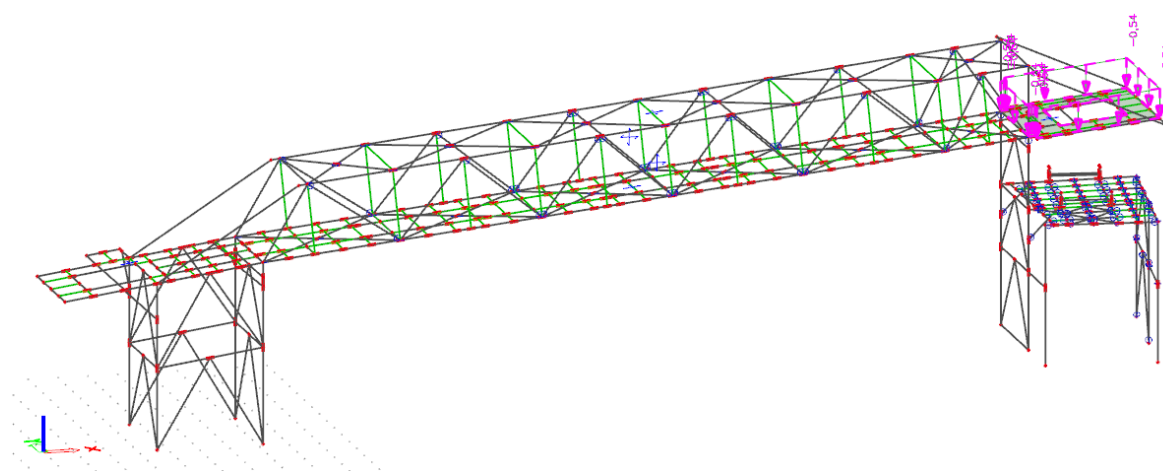
(8)



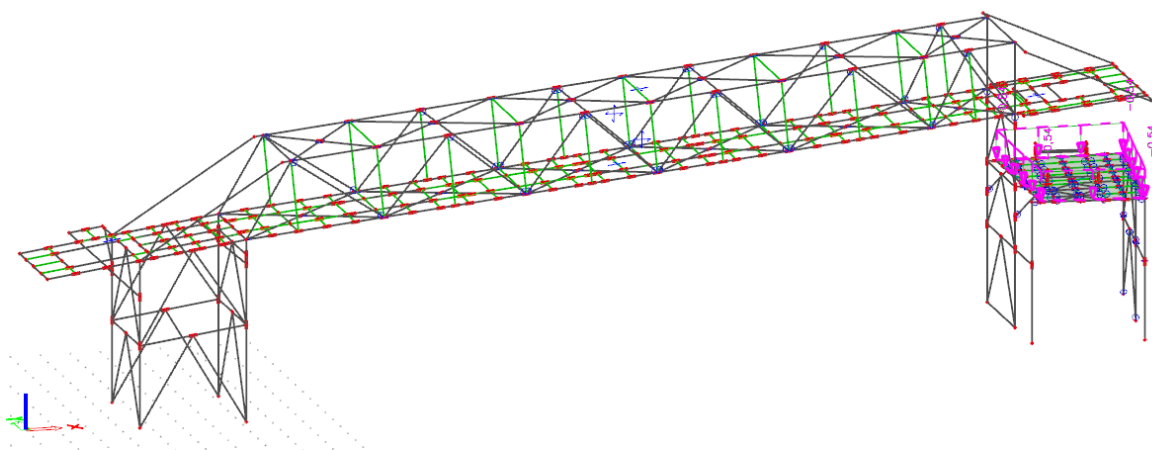
Obrázek 30: Zatížení sněhem – 1. stav (ZS7-1)



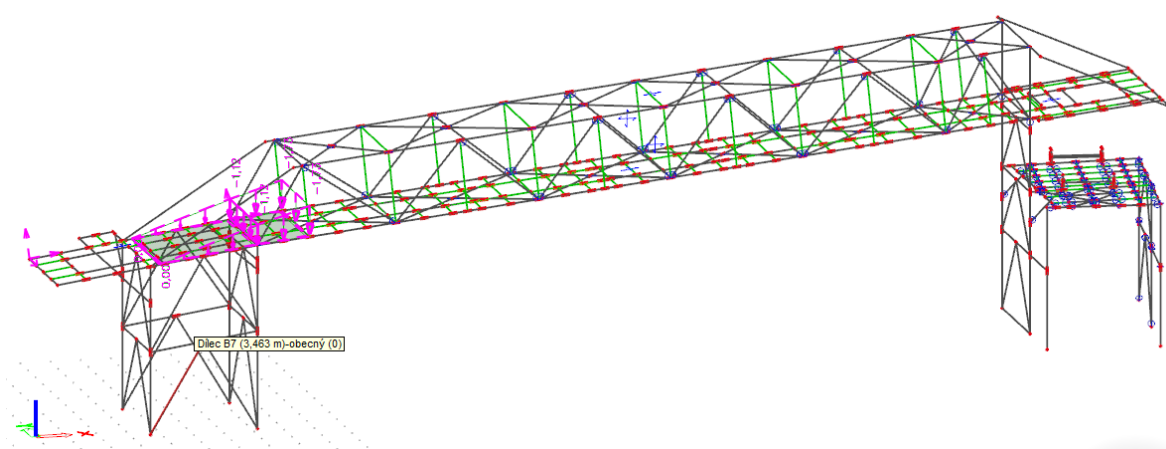
Obrázek 31: Zatížení sněhem – 2. stav (ZS7-2)



Obrázek 32: Zatížení sněhem – 3. stav (ZS7-3)



Obrázek 33: Zatížení sněhem – 4. stav (ZS7-4)



Obrázek 34: Zatížení sněhem – 5. stav – návěj na spodní část mostovky (ZS7-5)

IX. Zatížení větrem (ZS8 až ZS11)

Velikost zatížení větrem je brána podle hodnoty z podkladů [10], kde je počítáno podle americké normy [9]. Hodnota americké normy q_z je ekvivalentem hodnoty evropské normy $q_p(z)$, tedy charakteristické hodnoty zatížení větrem, viz

Porovnání přístupu americké a evropské normy k zatížení a kombinaci zatížení.

Zatížení samotné je v osmi stavech, které se vzájemně nekombinují.

Wind load:

due to ASCE 7-16; Chapter 26

basic wind speed

V = 140,0 mph (Virginia Beach, USA)

V = 225,3 km/h (figure 26.5-1B)

V = 62,6 m/s

Exposure Type

D

(Section 26.7)

(Flat unobstructed coastal areas. It extends 500m inland.)

height above ground

h = 15,00 m

$\alpha = 11,5$

$z_g = 213,36 \text{ m}$

$K_z = 1,267$

(Section 26.11)

Topographic factor

$K_{zt} = 1,00$

(formula 26.8-1)

wind directionality factor

$K_d = 0,85$

(table 26.6-1)

ground elevation factor

$K_e = 1,00$

(table 26.9-1)

Chapter 26.10, formula (26.10-1.si)

$q_z = 0,613 * K_z * K_{zt} * K_d * K_e * V^2$

$= 0,613 * 1,267 * 1,00 * 0,85 * 1,00 * 62,59^2$

$= 2585,23 \text{ N/m}^2 = 2,585 \text{ kN/m}^2$

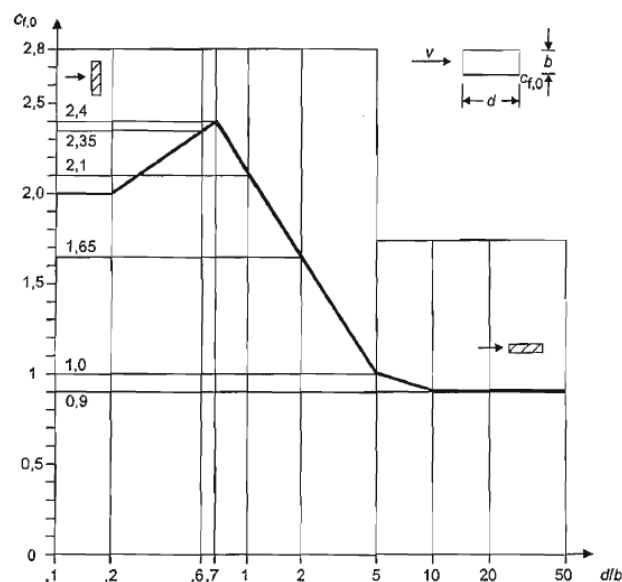
[N/m²]: V in m/s

Obrázek 35: Zatížení větrem z podkladů [10]

a) Směr větru Y – zatížení mostovky

Zatížení větrem na mostovku, která je opláštěná, je počítáno podle čl. 7.6 normy [4] .

$$\text{Poměr} \quad d/b = 3,70/2,36 = 1,57 \quad (9)$$



Obrázek 36: Obrázek 7.23 pro součinitel síly $c_{f,0}$ z normy [4]

Z Obrázek 36 je patrné že při poměru $d/b \leq 2,0$ je součinitel síly $c_{f,0} = 2,0$.

Redukční součinitel ψ_r je díky nezaobleným rohům roven 1,0.

Díky opláštění je součinitel plnosti $\phi = 1$, avšak koncové efekty nevznikají i kvůli absenci volných konců, proto $\psi_\lambda = 1,0$.

$$\text{Souč.} \quad c_f = c_{f,0} * \psi_r * \psi_\lambda = 2 * 1 * 1 = 2,0 \quad (10)$$

$$\text{Velikost} \quad w_{e,y} = c_f * q_p(z) = 2 * 2,585 = 5,17 \text{ kN/m}^2 \quad (11)$$

Rozdělení na návětrnou a závětrnou stranu proběhne v poměru 2:1.

$$\text{Návětrná} \quad w_{e,y,n} = w_{e,y} * 2/3 = 5,17 * 2/3 = 3,44 \text{ kN/m}^2 \quad (12)$$

$$\text{Závětrná} \quad w_{e,y,z} = w_{e,y} * 1/3 = 5,17 * 1/3 = 1,73 \text{ kN/m}^2 \quad (13)$$

b) Směr X a Y – plošiny; směr větru Y - mostovka

Vertikální zatížení způsobené větrem působící na mostovku a plošiny je počítáno podle čl. 8.3.3 normy [4] . Podle národní přílohy NA. 2.49 je $c_{f,z}$ možno uvažovat, bez užití větrného tunelu a zároveň i na stranu bezpečnou, s hodnotou $\pm 0,9$.

$$\text{Vertikální} \quad w_{e,z} = c_{f,z} * q_p(z) = (\pm 0,9) * 2,585 = 2,327 \text{ kN/m}^2 \quad (14)$$

Při zatížení mostovky proběhne ještě rozdělení na horní a dolní povrch mostovky v poměru 1:1.

$$\text{Rozdělení} \quad w_{e,z,r} = w_{e,z} * 1/2 = 2,327 * 1/2 = 1,164 \text{ kN/m}^2 \quad (15)$$

c) Otevřené průřezy

Pro správné zatížení větrem je třeba zohlednit i zatížení otevřených průřezů, případně příhradových věží. V této práci je uvažováno zatížení pro otevřené průřezy. Zásadní průřezy pro zatížení v této konstrukci jsou HEA140, HEA160, HEA200, HEA220, HEB220, HEB240 a L120x12. Toto zatížení se počítá podle čl. 7.7 normy [4]. Součinitel $c_{f,0}$ je dle pozn. 1 čl. 7.7 normy [4] možno uvažovat s hodnotou 2,0, součinitel koncového efektu ψ_λ pak konzervativně jako 1,0.

$$c_f \quad c_f = c_{f,0} * \psi_\lambda = 2 * 1 = 2,0 \quad (16)$$

Otevřené průřezy:

$$\text{HEA140} \quad f_f = c_f * q_p(z) * b = 2 * 2,585 * 0,133 = 0,69 \text{ kN/m} \quad (17)$$

$$f_f = c_f * q_p(z) * h = 2 * 2,585 * 0,14 = 0,72 \text{ kN/m} \quad (18)$$

$$\text{HEA160} \quad f_f = c_f * q_p(z) * b = 2 * 2,585 * 0,152 = 0,79 \text{ kN/m} \quad (19)$$

$$f_f = c_f * q_p(z) * h = 2 * 2,585 * 0,16 = 0,83 \text{ kN/m} \quad (20)$$

$$\text{HEA200} \quad f_f = c_f * q_p(z) * b = 2 * 2,585 * 0,19 = 0,98 \text{ kN/m} \quad (21)$$

$$f_f = c_f * q_p(z) * h = 2 * 2,585 * 0,20 = 1,03 \text{ kN/m} \quad (22)$$

$$\text{HEA220} \quad f_f = c_f * q_p(z) * b = 2 * 2,585 * 0,21 = 1,09 \text{ kN/m} \quad (23)$$

$$f_f = c_f * q_p(z) * h = 2 * 2,585 * 0,22 = 1,14 \text{ kN/m} \quad (24)$$

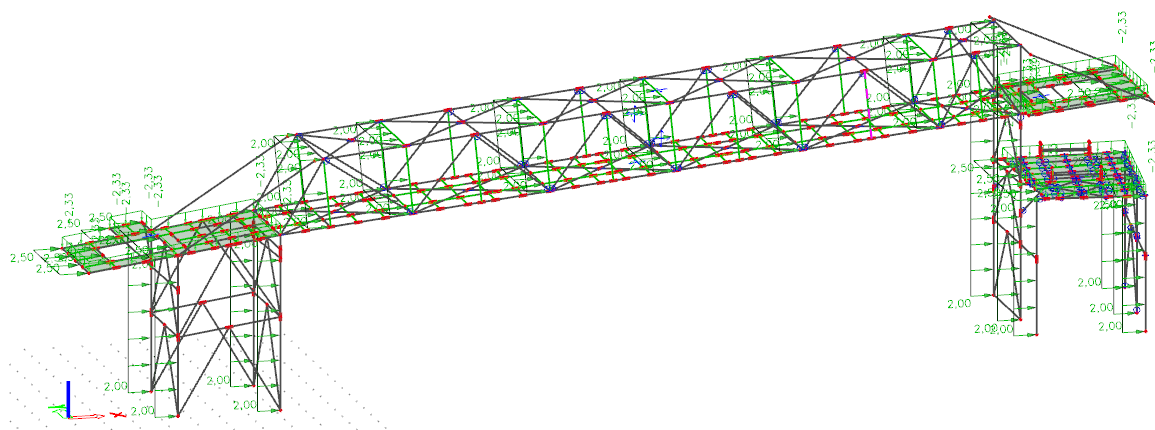
$$\text{HEB220} \quad f_f = c_f * q_p(z) * b = 2 * 2,585 * 0,22 = 1,14 \text{ kN/m} \quad (25)$$

$$\text{HEB240} \quad f_f = c_f * q_p(z) * b = 2 * 2,585 * 0,24 = 1,24 \text{ kN/m} \quad (26)$$

$$\text{L120x12} \quad f_f = c_f * q_p(z) * b = 2 * 2,585 * 0,10 = 0,52 \text{ kN/m} \quad (27)$$

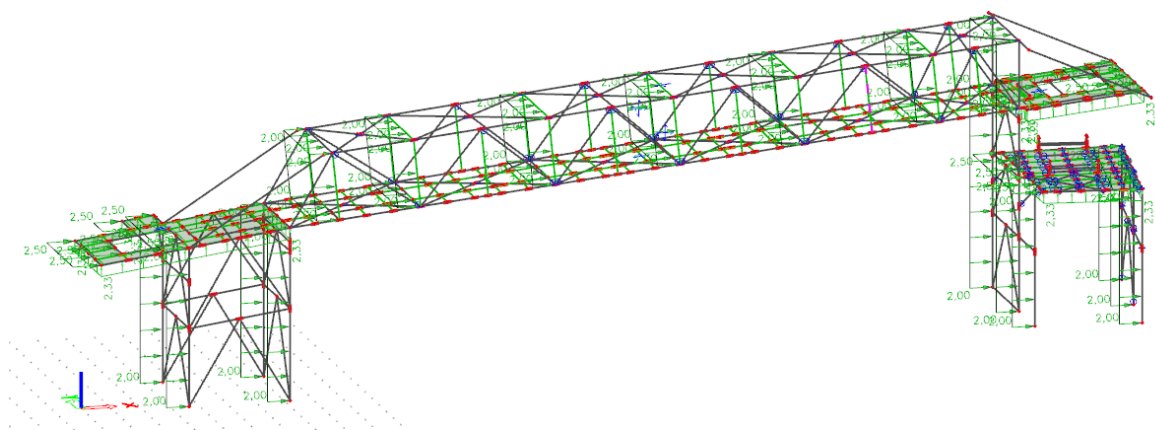
Konzervativně a pro přehlednost zatížení bude uvažováno navýšení zatížení na hlavní nosné prvky (z pravidla sloupy a hlavní prvky mostovky), při zanedbání vlivu na ztužující konstrukce. Toto zjednodušení je popsáno u každého zatěžovacího stavu.

ZS8-1: Vítr působící ve směru +x, součinitel $c_{f,z}$ nabývá záporné hodnoty. Na plošiny působí plošné zatížení ve směru z $-2,33 \text{ kN/m}^2$, na krajní prvky kolmé ke směru x působí konzervativně pro celou plošinu ve směru x zatížení $+2,5 \text{ kN/m}$. Na nohy podpěr působí zatížení ve směru x $+2,0 \text{ kN/m}$. Na mostovce působí zatížení do hlavních rámtů příhradové konstrukce ve směru x $+2,0 \text{ kN/m}$.



Obrázek 37: Vítr +x $-c_{f,z}$ (ZS8-1)

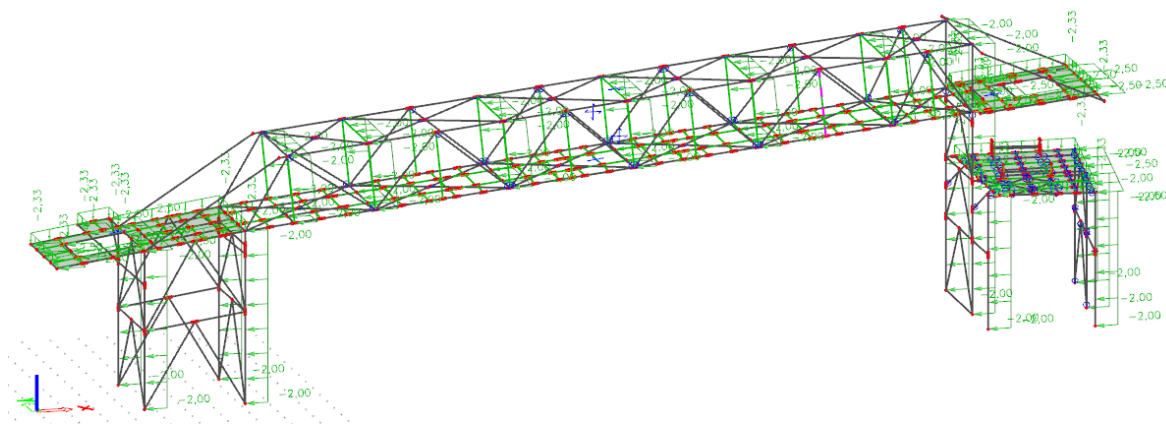
ZS8-2: Vítr působící ve směru +x, součinitel $c_{f,z}$ nabývá kladné hodnoty. Na plošiny působí plošné zatížení ve směru z $+2,33 \text{ kN/m}^2$, na krajní prvky kolmé ke směru x působí konzervativně pro celou plošinu ve směru x zatížení $+2,5 \text{ kN/m}$. Na nohy podpěr působí zatížení ve směru x $+2,0 \text{ kN/m}$. Na mostovce působí zatížení do hlavních rámtů příhradové konstrukce ve směru x $+2,0 \text{ kN/m}$.



Obrázek 38: Vítr +x $+c_{f,z}$ (ZS8-2)

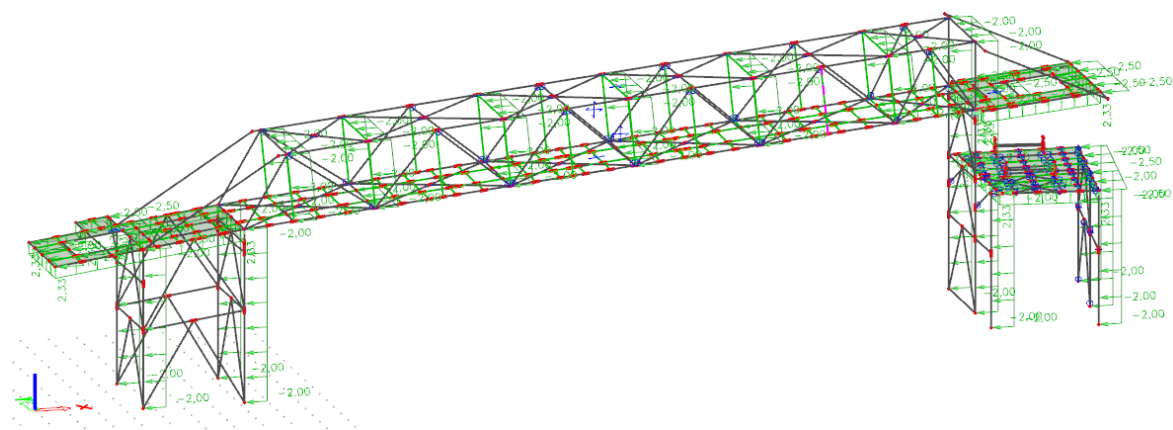
ZS9-1: Vítr působící ve směru -x, součinitel $c_{f,z}$ nabývá záporné hodnoty. Na plošiny působí plošné zatížení ve směru z $-2,33 \text{ kN/m}^2$, na krajní prvky kolmé ke směru x působí

konzervativně pro celou plošinu ve směru x zatížení $-2,5 \text{ kN/m}$. Na nohy podpěr působí zatížení ve směru x $-2,0 \text{ kN/m}$. Na mostovce působí zatížení do hlavních rámců příhradové konstrukce ve směru x $-2,0 \text{ kN/m}$.



Obrázek 39: Vítr -x $-c_{f,z}$ (ZS9-1)

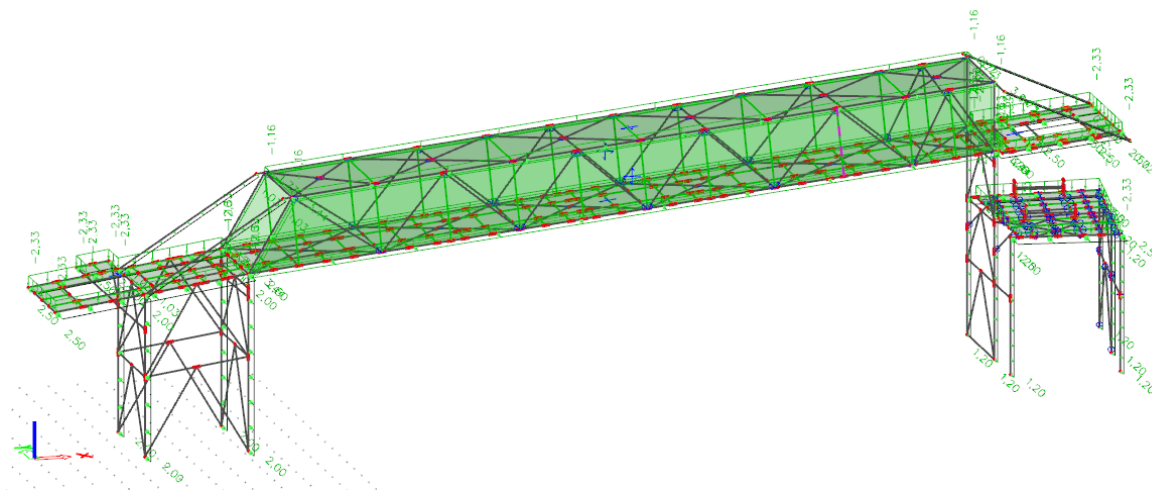
ZS9-2: Vítr působící ve směru +x, součinitel $c_{f,z}$ nabývá kladné hodnoty. Na plošiny působí plošné zatížení ve směru z $+2,33 \text{ kN/m}^2$, na krajní prvky kolmé ke směru x působí konzervativně pro celou plošinu ve směru x zatížení $-2,5 \text{ kN/m}$. Na nohy podpěr působí zatížení ve směru x $-2,0 \text{ kN/m}$. Na mostovce působí zatížení do hlavních rámců příhradové konstrukce ve směru x $-2,0 \text{ kN/m}$.



Obrázek 40: Vítr -x $+c_{f,z}$ (ZS9-2)

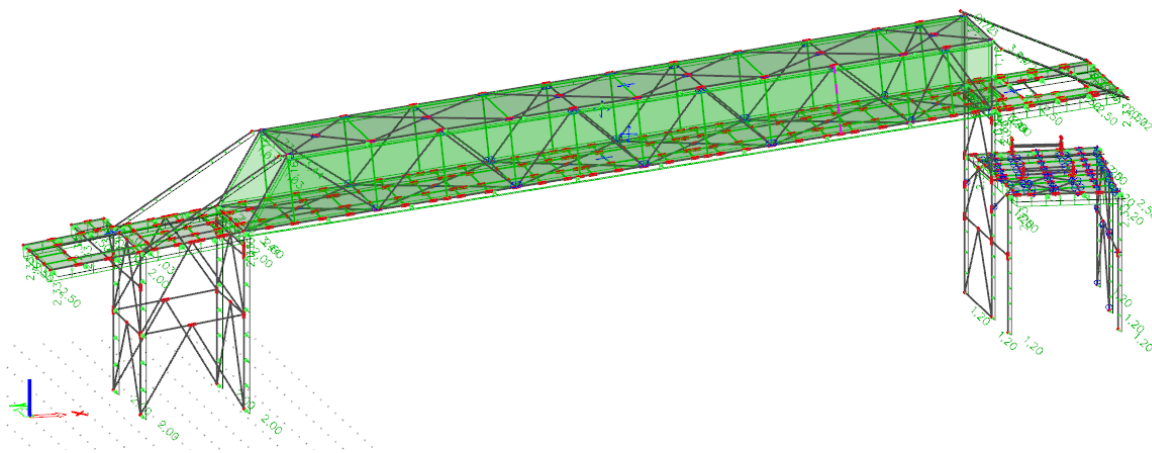
ZS10-1: Vítr působící ve směru +y, součinitel $c_{f,z}$ nabývá záporné hodnoty. Na plošiny působí plošné zatížení ve směru z $-2,33 \text{ kN/m}^2$, na krajní prvky kolmé ke směru y působí konzervativně pro celou plošinu ve směru y zatížení $+2,5 \text{ kN/m}$. Na nohy levé podpěry působí zatížení ve směru y $+2,0 \text{ kN/m}$, na nohy pravé podpěry a zároveň levé plošiny pak

+1,2 kN/m. Pro prvky HEA200 umístěné nad levou podpěrou působí zatížení ve směru y +1,03 kN/m, pro prvky HEA140 nad pravou podpěrou pak +0,72 kN/m. Na uzavřenou mostovku působí na návětrné straně zatížení ve směru y +3,44 kN/m², na závětrné pak +1,73 kN/m², na spodní a horní plochy ve směru z -1,16 kN/m².



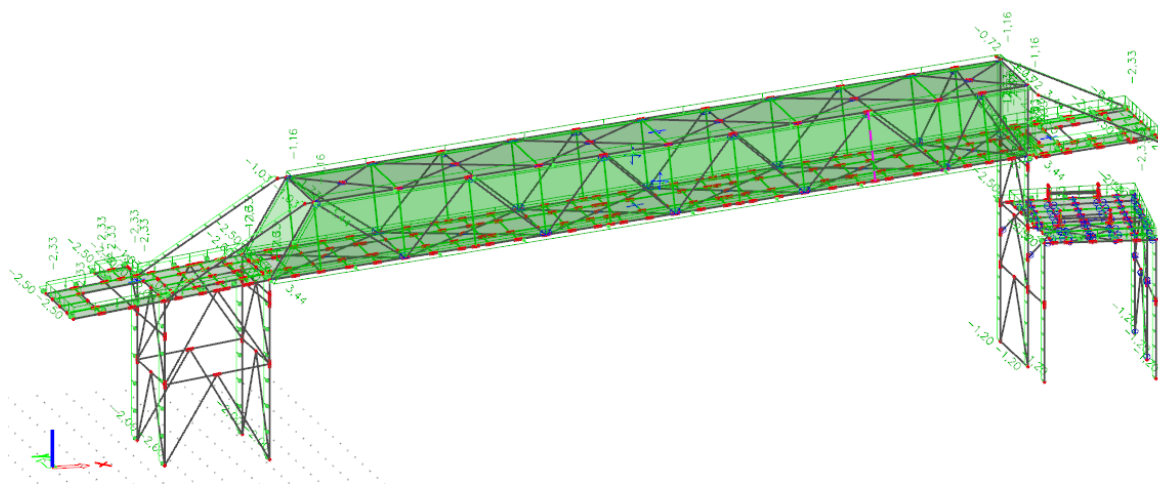
Obrázek 41: Vítr +y - $c_{f,z}$ (ZS10-1)

ZS10-2: Vítr působící ve směru +y, součinitel $c_{f,z}$ nabývá kladné hodnoty. Na plošiny působí plošné zatížení ve směru z +2,33 kN/m², na krajní prvky kolmé ke směru y působí konzervativně pro celou plošinu ve směru y zatížení +2,5 kN/m. Na nohy levé podpěry působí zatížení ve směru y +2,0 kN/m, na nohy pravé podpěry a zároveň levé plošiny pak +1,2 kN/m. Pro prvky HEA200 umístěné nad levou podpěrou působí zatížení ve směru y +1,03 kN/m, pro prvky HEA140 nad pravou podpěrou pak +0,72 kN/m. Na uzavřenou mostovku působí na návětrné straně zatížení ve směru y +3,44 kN/m², na závětrné pak +1,73 kN/m², na spodní a horní plochy ve směru z +1,16 kN/m².



Obrázek 42: Vítr +y + $c_{f,z}$ (ZS10-2)

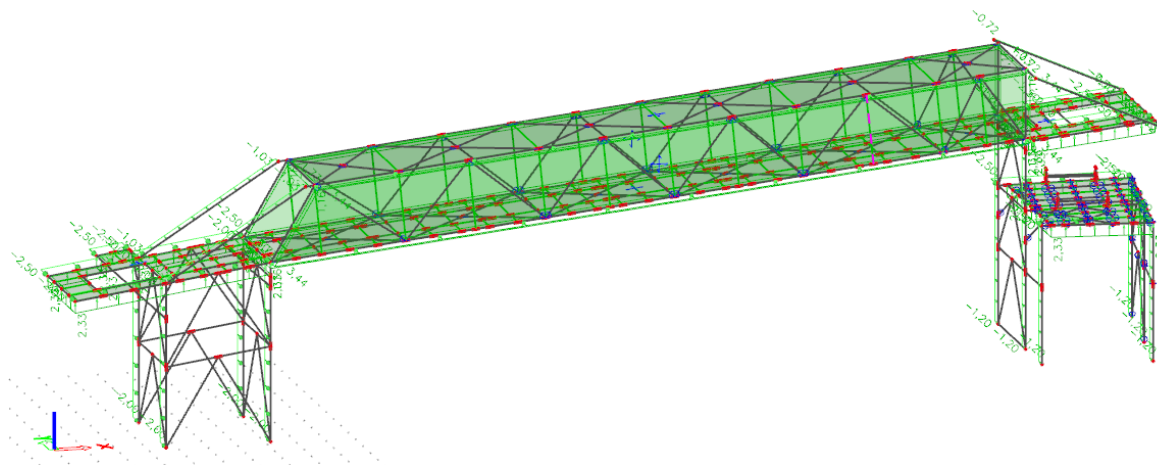
ZS11-1: Vítr působící ve směru -y, součinitel $c_{f,z}$ nabývá záporné hodnoty. Na plošiny působí plošné zatížení ve směru z $-2,33 \text{ kN/m}^2$, na krajní prvky kolmé ke směru y působí konzervativně pro celou plošinu ve směru y zatížení $-2,5 \text{ kN/m}$. Na nohy levé podpěry působí zatížení ve směru y $-2,0 \text{ kN/m}$, na nohy pravé podpěry a zároveň levé plošiny pak $-1,2 \text{ kN/m}$. Pro prvky HEA200 umístěné nad levou podpěrou působí zatížení ve směru y $-1,03 \text{ kN/m}$, pro prvky HEA140 nad pravou podpěrou pak $-0,72 \text{ kN/m}$. Na uzavřené mostovku působí na návětrné straně zatížení ve směru y $-3,44 \text{ kN/m}^2$, na závětrné pak $-1,73 \text{ kN/m}^2$, na spodní a horní plochy ve směru z $-1,16 \text{ kN/m}^2$.



Obrázek 43: Vítr -y - $c_{f,z}$ (ZS11-1)

ZS10-2: Vítr působící ve směru -y, součinitel $c_{f,z}$ nabývá kladné hodnoty. Na plošiny působí plošné zatížení ve směru z $+2,33 \text{ kN/m}^2$, na krajní prvky kolmé ke směru y působí konzervativně pro celou plošinu ve směru y zatížení $-2,5 \text{ kN/m}$. Na nohy levé podpěry působí zatížení ve směru y $-2,0 \text{ kN/m}$, na nohy pravé podpěry a zároveň levé plošiny pak -

1,2 kN/m. Pro prvky HEA200 umístěné nad levou podpěrou působí zatížení ve směru y - 1,03 kN/m, pro prvky HEA140 nad pravou podpěrou pak -0,72 kN/m. Na uzavřené mostovku působí na návětrné straně zatížení ve směru y -3,44 kN/m², na závětrné pak -1,73 kN/m², na spodní a horní plochy ve směru z +1,16 kN/m².



Obrázek 44: Vitr -y +c_{f,z} (ZS11-2)

5.3. Mimořádná zatížení

Mimořádné zatížení je značeno obecně v evropských normách A, jejich součinitelé (zpravidla γ) pak mají v dolním indexu uvedeno A.

Seismické zatížení

V podkladech [10] je uvedena i hodnota seismicity.

Seismic load:		due to ASCE 7-16; Chapter 11-12/22	
		(Virginia Beach, USA)	
Site Class E <i>Soft clay soil</i>	$S_S =$	8,4 % g	
	$S_1 =$	3,9 % g	
	$F_a =$	2,400	short-period site coefficient (table 11.4-1)
	$F_v =$	4,200	long-period site coefficient (table 11.4-2)
	$S_{MS} = F_a * S_S =$	0,202	formula (11.4-1)
	$S_{M1} = F_v * S_1 =$	0,164	formula (11.4-2)
	$S_{DS} = 2/3 * S_{MS} =$	0,134	formula (11.4-3)
	$S_{D1} = 2/3 * S_{M1} =$	0,109	formula (11.4-4)
	$T_0 =$	0,163 s	
	$T_s =$	0,813 s	
		$T =$	0,35 s (natural period)
		$T_L \geq$	4,0 s

Obrázek 45: Hodnota seismických zatížení

Z americké normy [9] lze vyčíst, že hodnota S_1 odpovídá 5% tlumené spektrální odezvě zrychlení pro časové období jedné vteřiny, tomuto v evropské normě [7] odpovídá hodnota a_g . S_1 je tedy po přepočtu 0,039g, kde g je gravitační zrychlení. Evropská norma [7] v čl. 3.2.1 odstavec 5 a jeho poznámce uvádí, že se seismicita smí zanedbat při hodnotě a_g menší než 0,04g. Tato podmínka je tedy splněna a seismické zatížení se zanedbává.

6. Kombinace

Kombinace zatěžovacích stavů probíhají pomocí softwaru SCIA Engineer. Pro mezní stav únosnosti jsou využity rovnice 6.10a a 6.10b normy [1] , respektive méně příznivá varianta z těchto výrazů. Hodnoty kombinačních součinitelů ψ jsou uvedeny v tabulce Tabulka A1.1 přílohy Příloha A1 normy [1] .

Kombinace			
Jméno	Typ	Zatěžovací stavy	Souč. [-]
<i>*Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze</i>			
MSU-Sada B (auto)	EN-MSU (STR/GEO) Soubor B	ZS1 - Vlastní tíha	1,00
		ZS2 - Vlastní tíha trapez	1,00
		ZS3-1 - Vlastní tíha technologie	1,00
		ZS4-1 - Užitne 1	1,00
		ZS5 - Material	1,00
		ZS4-2 - Užitne 2	1,00
		ZS4-3 - Užitne 3	1,00
		ZS4-4 - Užitne 4	1,00
		ZS3-2 - Stale-napnutí pasu	1,00
		ZS7-1 - Snih 1	1,00
		ZS8-2 - Vitř+x +cfz	1,00
		ZS9-1 - Vitř-x -cfz	1,00
		ZS10-1 - Vitř+y -cfz	1,00
		ZS11-1 - Vitř-y -cfz	1,00
		ZS6-2 - Teplota ochlazení	1,00
		ZS4-5 - Užitne 5	1,00
		ZS7-2 - Snih 2	1,00
		ZS7-3 - Snih 3	1,00
		ZS7-4 - Snih 4	1,00
		ZS7-5 - Snih 5 - spodní naven	1,00
		ZS10-2 - Vitř+y +cfz	1,00
		ZS11-2 - Vitř-y +cfz	1,00
		ZS6-1 - Teplota oteplení	1,00
		ZS8-1 - Vitř+x -cfz	1,00
		ZS9-2 - Vitř-x +cfz	1,00

Obrázek 46: Zatěžovací stavy vstupující do kombinace mezního stavu únosnosti, generováno ze softwaru SCIA Engineer

Pro mezní stav použitelnosti je využita rovnice 6.14b normy [1] .

Kombinace			
Jméno	Typ	Zatěžovací stavy	Souč. [-]
*Studentská verze¹ *Studentská verze¹ *Studentská verze¹ *Studentská verze¹ *Studentská verze¹ *Studentská verze¹			
MSP- Char (auto)	EN-MSP charakteristická	ZS1 - Vlastní tíha	1,00
		ZS2 - Vlastní tíha trapez	1,00
		ZS3-1 - Vlastní tíha technologie	1,00
		ZS4-1 - Užítne 1	1,00
		ZS5 - Material	1,00
		ZS4-2 - Užítne 2	1,00
		ZS4-3 - Užítne 3	1,00
		ZS4-4 - Užítne 4	1,00
		ZS3-2 - Stale-napnutí pasu	1,00
		ZS7-1 - Snih 1	1,00
		ZS8-2 - Vitr+x +cfz	1,00
		ZS9-1 - Vitr-x -cfz	1,00
		ZS10-1 - Vitr+y -cfz	1,00
		ZS11-1 - Vitr-y -cfz	1,00
		ZS6-2 - Teplota ochlazení	1,00
		ZS4-5 - Užítne 5	1,00
		ZS7-2 - Snih 2	1,00
		ZS7-3 - Snih 3	1,00
		ZS7-4 - Snih 4	1,00
		ZS7-5 - Snih 5 - spodní naven	1,00
		ZS10-2 - Vitr+y +cfz	1,00
		ZS11-2 - Vitr-y +cfz	1,00
		ZS6-1 - Teplota oteplení	1,00
		ZS8-1 - Vitr+x -cfz	1,00
		ZS9-2 - Vitr-x +cfz	1,00

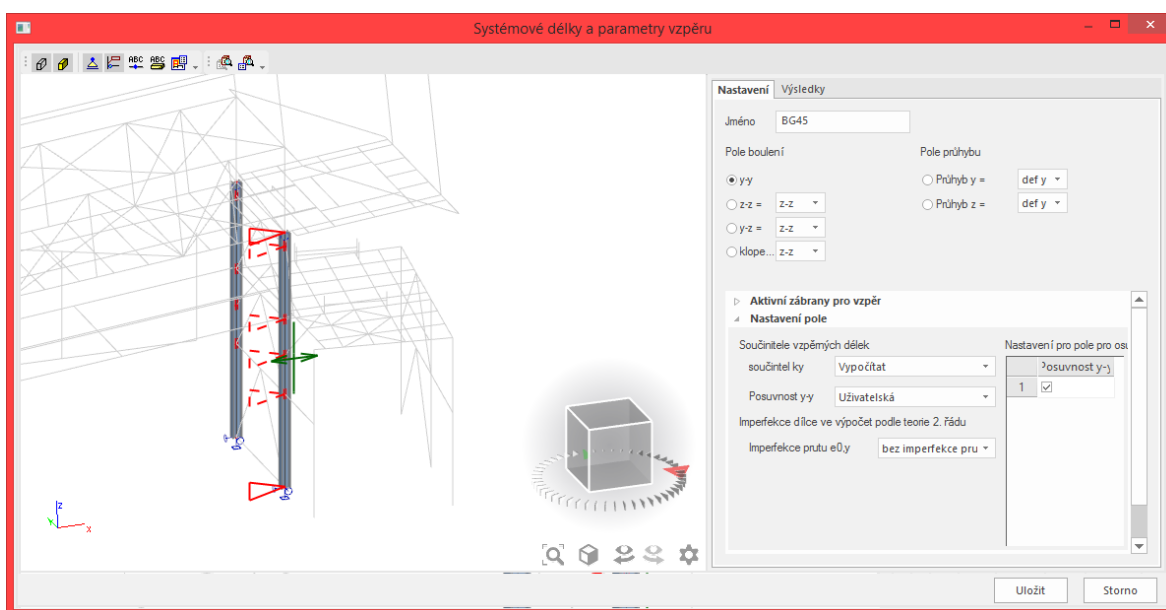
Obrázek 47: Zatěžovací stavy vstupující do kombinace mezního stavu použitelnosti, generováno ze softwaru SCIA Engineer

7. Vzpěrné délky

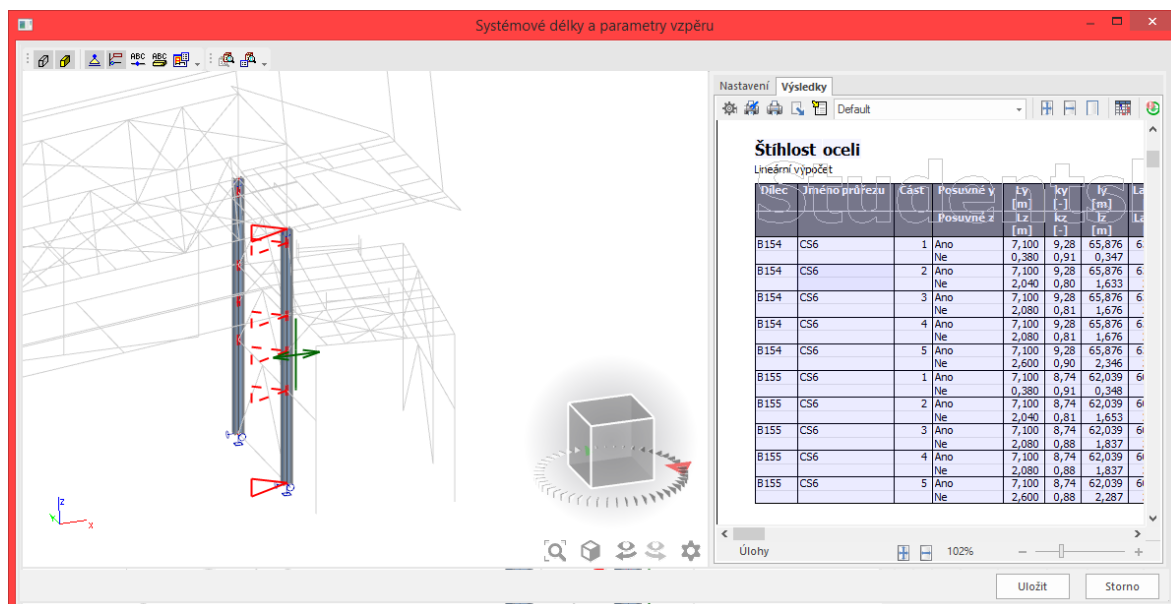
Výpočet vzpěrných délek je většinou ponechán na softwaru SCIA Engineer po jeho nastavení v okně Systémové délky a parametry vzpěru, některé však software nadeřinoval chybně, kdy nejvyšší hodnota součinitele vzpěrné délky, kterou použije jako násobitel systémové délky je 10. Software v tomto případě uvažuje nejhorší možnou variantu, proto tyto vzpěrné délky byly upraveny ručně na příslušné násobitele podle teorie pružnosti a plasticity na správné hodnoty. Na vybraných prutech je tato změna ukázána.

U pravé podpěry se jedná o sloupy HEB240, které po výpočtu vykazují součinitel vzpěrné délky pro směr y-y okolo hodnoty 9. Tento prut je však podepřen vespod u podpory i nahoře u mostovky kloubově, mezi těmito body není uvažováno zabránění vzpěru, plošina nezabraňuje vzpěru, protože není v tomto směru ztužena. Hodnota součinitele k_y je tedy ručně nastavena, dle teorie pružnosti a plasticity, na hodnotu 1,0.

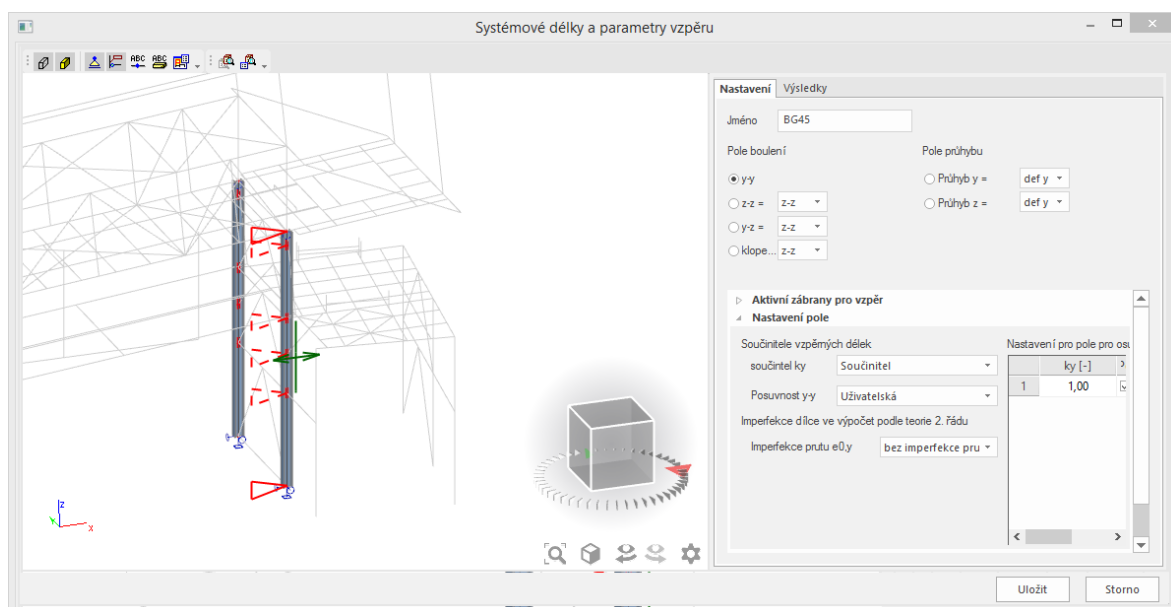
Obecně při nastavení vzpěrných délek v softwaru jsou důležité dvě činnosti. První z nich je volba samotných bodů zamezení posuvu při vzpěru a druhá pak posuvnost styčníků. Při vypnuté volbě posuvnosti je součinitel vzpěrné délky vždy maximálně roven jedné. Při zapnuté posuvnosti součinitel na této hodnotě začíná a končí s hodnotou deset, která většinou je enormně na stranu bezpečnou a po provedení analýzy situace je možné nastavit odpovídající hodnotu ručním zadáním.



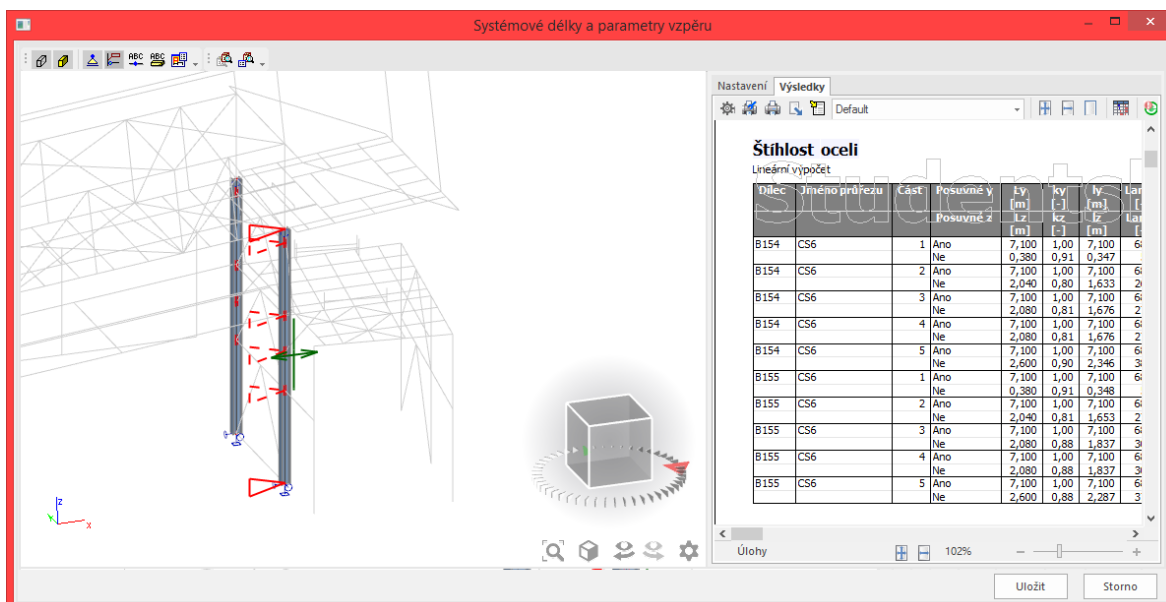
Obrázek 48: Nastavení vedoucí nadhodnoceným výsledkům, SCIA Engineer



Obrázek 49: Špatné výsledky součinitele k_y a následných ovlivňujících hodnot, SCIA Engineer



Obrázek 50: Ručně opravené nastavení parametrů vzpěr, SCIA Engineer



Obrázek 51: Opravené výsledky součinitele k_y a následných ovlivněných hodnot, SCIA Engineer

Obdobná situace jako u pravé podpěry vzniká u sloupů plošiny. V tomto případě již SCIA Engineer vykazoval hodnoty součinitele 10, zvolil zde tedy nejhorší nastavenou variantu. Výpočet by tedy byl na stranu bezpečnou, avšak samotné předdimenzování konstrukce by mělo za následek větší finanční náklady samotného provedení konstrukce, neboť by se průřez musel dimenzovat se vzpěrnou délkou 46,8 metru. Byla tedy provedena oprava součinitele k_y na hodnotu 1,0 z důvodu, že pruty jsou opět ve své spodní části v podpoře a v horní části u plošiny připojeny kloubově. Po této opravě je vzpěrná délka vypočtena na hodnotu 4,68 metru, která validuje s teorií pružnosti a plasticity.

U zbylých prutů vzpěr nehrál roli pro posudek, nebo jej software SCIA Engineer vypočítal korektně s teorií pružnosti a plasticity.

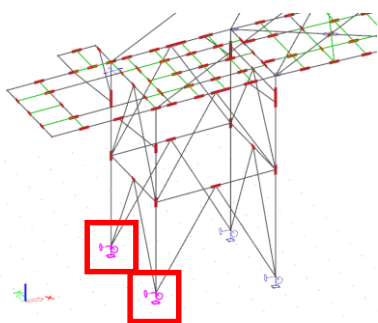
8. Globální analýza

K výpočtu vnitřních sil a reakcí je využit lineární výpočet programu SCIA Engineer. Využit je prostorový prutový model, který je podrobněji popsán v kapitole **Model dopravníkového mostu**.

8.1. Reakce

Předmětem této práce není návrh základové konstrukce, ale pro následné navržení základových konstrukcí a kotvení konstrukce k samotné základové konstrukci je třeba tyto hodnoty znát.

Reakce jsou rozděleny do pěti logických celků podle své velikosti, umístění a navazujícího profilu. Logické celky jsou rozděleny na levou a pravou stranu dopravníkového mostu podle Obrázek 4. V levé podpěře na dvě dílčí části, tedy na profil HEA200 (vlevo podpěry na obrázku) a HEB220 (vpravo podpěry na obrázku). V pravé podpěře dále pak na dva profily podpěry HEB240. Plošina samotná má nohy z profilu HEA160 a ty jsou rozděleny po dvou dle velikosti reakčních sil na podpory pod mostovkou a podpory mimo mostovku.



Reakce

Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)

Systém: Globální

Extrém: Globální

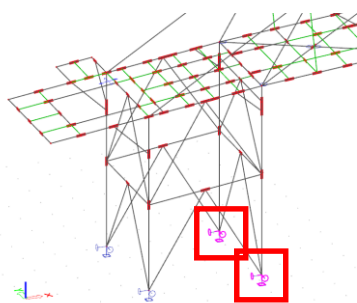
Výběr: Sn6, Sn7

Uzlové reakce

Jméno	Stav	R _x [kN]	R _y [kN]	R _z [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	M _z [kNm]	e _x [mm]	e _y [mm]
Sn6/N22	MSÚ-Sada B (auto)/1	128,95	-2,34	400,34	0,00	0,00	-0,11	0,0	0,0
Sn6/N22	MSÚ-Sada B (auto)/2	30,84	-48,38	245,69	0,00	0,00	-0,17	0,0	0,0
Sn7/N10	MSÚ-Sada B (auto)/3	-48,63	41,74	20,29	0,00	0,00	-0,23	0,0	0,0
Sn6/N22	MSÚ-Sada B (auto)/4	-146,12	1,95	-477,69	0,00	0,00	0,05	0,0	0,0
Sn6/N22	MSÚ-Sada B (auto)/5	124,38	-2,70	470,92	0,00	0,00	-0,13	0,0	0,0
Sn6/N22	MSÚ-Sada B (auto)/6	-150,68	1,59	-407,10	0,00	0,00	0,03	0,0	0,0
Sn6/N22	MSÚ-Sada B (auto)/7	24,48	40,61	21,46	0,00	0,00	-0,34	0,0	0,0
Sn7/N10	MSÚ-Sada B (auto)/8	115,83	0,06	421,62	0,00	0,00	0,15	0,0	0,0

Jméno	Klíč kombinace
MSÚ-Sada B (auto)/1	ZS1 + ZS2 + ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-3 + ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-5 + 0.90*ZS6-1 + 1.50*ZS9-2
MSÚ-Sada B (auto)/2	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-2 + 1.50*ZS4-3 + 1.50*ZS4-4 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-3 + 0.75*ZS7-5 + 1.50*ZS10-2 + 0.90*ZS6-1
MSÚ-Sada B (auto)/3	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS4-3 + 1.50*ZS4-4 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-3 + 0.75*ZS7-5 + 1.50*ZS11-2 + 0.90*ZS6-1
MSÚ-Sada B (auto)/4	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS4-2 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 1.50*ZS8-2 + 0.90*ZS6-2 + 1.50*ZS4-5 + 0.75*ZS7-4
MSÚ-Sada B (auto)/5	ZS1 + ZS2 + ZS3-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-3 + 1.50*ZS4-4 + ZS3-2 + 1.50*ZS9-1 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-3 + 0.75*ZS7-5 + 0.90*ZS6-1
MSÚ-Sada B (auto)/6	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-2 + 1.50*ZS4-4 + 1.15*ZS3-2 + 0.90*ZS6-2 + 1.50*ZS4-5 + 0.75*ZS7-3 + 0.75*ZS7-4 + 1.50*ZS8-1
MSÚ-Sada B (auto)/7	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-3 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 1.50*ZS11-1 + 0.90*ZS6-2 + 1.50*ZS4-5 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-4 + 0.75*ZS7-5
MSÚ-Sada B (auto)/8	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + 1.50*ZS4-3 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 1.50*ZS9-1 + 0.90*ZS6-2 + 1.50*ZS4-5 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-4 + 0.75*ZS7-5

Obrázek 52: Reakce na levé podpěře u profilu HEA200, výsledky ze softwaru SCIA Engineer



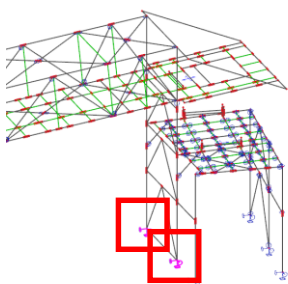
Reakce

Lineární výpočet
Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)
Systém: Globální
Extrém: Globální
Výběr: Sn5, Sn8
Uzlové reakce

Jméno	Stav	R_x [kN]	R_y [kN]	R_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	e_x [mm]	e_y [mm]
Sn5/N24	MSÚ-Sada B (auto)/1	105,82	-0,23	-164,90	0,00	0,00	-0,03	0,0	0,0
Sn5/N24	MSÚ-Sada B (auto)/2	18,46	-141,31	820,00	0,00	0,00	-0,24	0,0	0,0
Sn8/N12	MSÚ-Sada B (auto)/3	-79,49	4,02	520,21	0,00	0,00	-0,04	0,0	0,0
Sn8/N12	MSÚ-Sada B (auto)/4	-39,79	-136,89	-367,23	0,00	0,00	-0,27	0,0	0,0
Sn5/N24	MSÚ-Sada B (auto)/5	14,56	-138,51	859,41	0,00	0,00	-0,23	0,0	0,0
Sn5/N24	MSÚ-Sada B (auto)/6	-131,27	-1,81	667,22	0,00	0,00	0,06	0,0	0,0
Sn8/N12	MSÚ-Sada B (auto)/7	-47,13	-136,12	-7,30	0,00	0,00	-0,29	0,0	0,0
Sn5/N24	MSÚ-Sada B (auto)/8	-131,25	-1,82	670,49	0,00	0,00	0,06	0,0	0,0

Jméno	Klíč kombinace
MSÚ-Sada B (auto)/1	ZS1 + ZS2 + ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + ZS3-2 + 0.90*ZS6-2 + 1.50*ZS9-2
MSÚ-Sada B (auto)/2	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS5 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 1.50*ZS10-1 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-5 + 0.90*ZS6-1
MSÚ-Sada B (auto)/3	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 1.50*ZS4-5 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-4 + 0.75*ZS7-5 + 1.50*ZS6-1 + 0.90*ZS8-1
MSÚ-Sada B (auto)/4	ZS1 + ZS2 + ZS3-1 + 1.50*ZS4-4 + ZS3-2 + 0.75*ZS7-3 + 1.50*ZS10-2 + 0.90*ZS6-1
MSÚ-Sada B (auto)/5	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + 1.50*ZS4-3 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 1.50*ZS10-1 + 0.90*ZS6-2 + 1.50*ZS4-5 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-4 + 0.75*ZS7-5
MSÚ-Sada B (auto)/6	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + 1.50*ZS4-3 + 1.50*ZS4-4 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 1.50*ZS4-5 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-3 + 0.75*ZS7-4 + 0.75*ZS7-5 + 0.90*ZS6-1 + 1.50*ZS8-1
MSÚ-Sada B (auto)/7	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-3 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 1.50*ZS10-1 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-5 + 0.90*ZS6-1
MSÚ-Sada B (auto)/8	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + 1.50*ZS4-3 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 1.50*ZS4-5 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-4 + 0.75*ZS7-5 + 0.90*ZS6-1 + 1.50*ZS8-1

Obrázek 53: Reakce na levé podpěře u profilu HEB220, výsledky ze softwaru SCIA Engineer



Reakce

Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)

Systém: Globální

Extrém: Globální

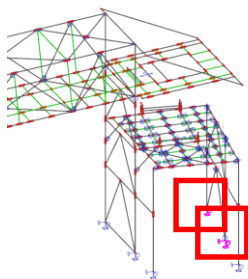
Výběr: Sn9, Sn10

Uzlové reakce

Jméno	Stav	R _x [kN]	R _y [kN]	R _z [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	M _z [kNm]	e _x [mm]	e _y [mm]
Sn10/N31	MSÚ-Sada B (auto)/1	-30,60	410,50	162,19	0,00	0,00	-0,60	0,0	0,0
Sn10/N31	MSÚ-Sada B (auto)/2	35,65	-407,95	205,08	0,00	0,00	0,70	0,0	0,0
Sn9/N33	MSÚ-Sada B (auto)/3	-1,16	-768,07	684,63	0,00	0,00	0,17	0,0	0,0
Sn10/N31	MSÚ-Sada B (auto)/4	-20,61	673,24	173,50	0,00	0,00	-0,35	0,0	0,0
Sn10/N31	MSÚ-Sada B (auto)/5	-3,92	230,20	-712,55	0,00	0,00	0,06	0,0	0,0
Sn9/N33	MSÚ-Sada B (auto)/6	6,90	227,71	1055,29	0,00	0,00	0,06	0,0	0,0
Sn10/N31	MSÚ-Sada B (auto)/7	-25,51	-388,42	195,42	0,00	0,00	-0,61	0,0	0,0
Sn10/N31	MSÚ-Sada B (auto)/8	30,55	390,98	171,85	0,00	0,00	0,70	0,0	0,0

Jméno	Klíč kombinace
MSÚ-Sada B (auto)/1	ZS1 + ZS2 + ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 1.50*ZS8-2 + 0.75*ZS7-5 + 0.90*ZS6-1
MSÚ-Sada B (auto)/2	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-3 + 1.50*ZS4-4 + 1.15*ZS3-2 + 1.50*ZS9-1 + 0.90*ZS6-2 + 1.50*ZS4-5 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-3 + 0.75*ZS7-4
MSÚ-Sada B (auto)/3	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + 1.50*ZS4-3 + 1.50*ZS4-4 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 0.90*ZS10-1 + 1.50*ZS4-5 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-3 + 0.75*ZS7-4 + 0.75*ZS7-5 + 1.50*ZS6-1
MSÚ-Sada B (auto)/4	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-4 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 0.90*ZS8-2 + 0.75*ZS7-3 + 0.75*ZS7-5 + 1.50*ZS6-1
MSÚ-Sada B (auto)/5	ZS1 + ZS2 + ZS3-1 + 1.50*ZS4-3 + ZS3-2 + 0.75*ZS7-2 + 1.50*ZS10-2 + 0.90*ZS6-1
MSÚ-Sada B (auto)/6	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + 1.50*ZS4-4 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 1.50*ZS10-1 + 0.90*ZS6-2 + 1.50*ZS4-5 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-3 + 0.75*ZS7-4 + 0.75*ZS7-5
MSÚ-Sada B (auto)/7	ZS1 + ZS2 + ZS3-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + 1.50*ZS4-4 + ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 1.50*ZS8-2 + 0.90*ZS6-2 + 0.75*ZS7-3 + 0.75*ZS7-5
MSÚ-Sada B (auto)/8	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS4-3 + 1.15*ZS3-2 + 1.50*ZS9-1 + 1.50*ZS4-5 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-4 + 0.90*ZS6-1

Obrázek 54: Reakce na pravé podpěře u profilu HEB240, výsledky ze softwaru SCIA Engineer



Reakce

Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)

Systém: Globální

Extrém: Globální

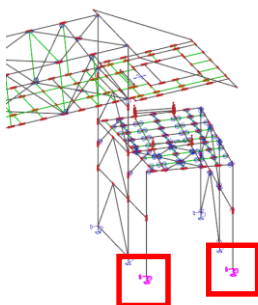
Výběr: Sn1, Sn2

Uzlové reakce

Jméno	Stav	R _x [kN]	R _y [kN]	R _z [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	M _z [kNm]	e _x [mm]	e _y [mm]
Sn2/N142	MSÚ-Sada B (auto)/1	8,56	11,19	80,84	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
Sn1/N143	MSÚ-Sada B (auto)/2	-2,30	-20,89	39,15	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
Sn2/N142	MSÚ-Sada B (auto)/3	2,11	19,53	87,73	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
Sn2/N142	MSÚ-Sada B (auto)/4	-2,00	-18,75	-48,03	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
Sn2/N142	MSÚ-Sada B (auto)/5	2,10	19,45	88,05	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
Sn1/N143	MSÚ-Sada B (auto)/6	-8,70	-12,15	29,51	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
Sn2/N142	MSÚ-Sada B (auto)/7	8,41	10,09	12,75	0,00	0,00	-0,01	0,0	0,0
Sn2/N142	MSÚ-Sada B (auto)/8	-8,26	-8,98	29,66	0,00	0,00	0,01	0,0	0,0

Jméno	Klíč kombinace
MSÚ-Sada B (auto)/1	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS4-3 + 1.50*ZS4-4 + 1.15*ZS3-2 + 1.50*ZS9-1 + 1.50*ZS4-5 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-3 + 0.75*ZS7-4 + 0.90*ZS6-1
MSÚ-Sada B (auto)/2	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 0.75*ZS7-5 + 1.50*ZS10-2 + 0.90*ZS6-1
MSÚ-Sada B (auto)/3	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS4-3 + 1.50*ZS4-4 + 1.15*ZS3-2 + 1.50*ZS11-1 + 1.50*ZS4-5 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-3 + 0.75*ZS7-4 + 0.90*ZS6-1
MSÚ-Sada B (auto)/4	ZS1 + ZS2 + ZS3-1 + 1.50*ZS4-3 + 1.50*ZS4-4 + ZS3-2 + 0.90*ZS6-2 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-3 + 1.50*ZS10-2
MSÚ-Sada B (auto)/5	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 1.50*ZS11-1 + 1.50*ZS4-5 + 0.75*ZS7-4 + 0.75*ZS7-5 + 0.90*ZS6-1
MSÚ-Sada B (auto)/6	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 1.50*ZS8-2 + 0.75*ZS7-5 + 0.90*ZS6-1
MSÚ-Sada B (auto)/7	ZS1 + ZS2 + ZS3-1 + 1.50*ZS4-3 + 1.50*ZS4-4 + ZS3-2 + 0.90*ZS6-2 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-3 + 1.50*ZS9-2
MSÚ-Sada B (auto)/8	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 1.50*ZS4-5 + 0.75*ZS7-4 + 0.75*ZS7-5 + 0.90*ZS6-1 + 1.50*ZS8-1

Obrázek 55: Reakce na plošině u profilu pod mostovkou HEA160, výsledky ze softwaru SCIA Engineer



Reakce

Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)

Systém: Globální

Extrém: Globální

Výběr: Sn3, Sn4

Uzlové reakce

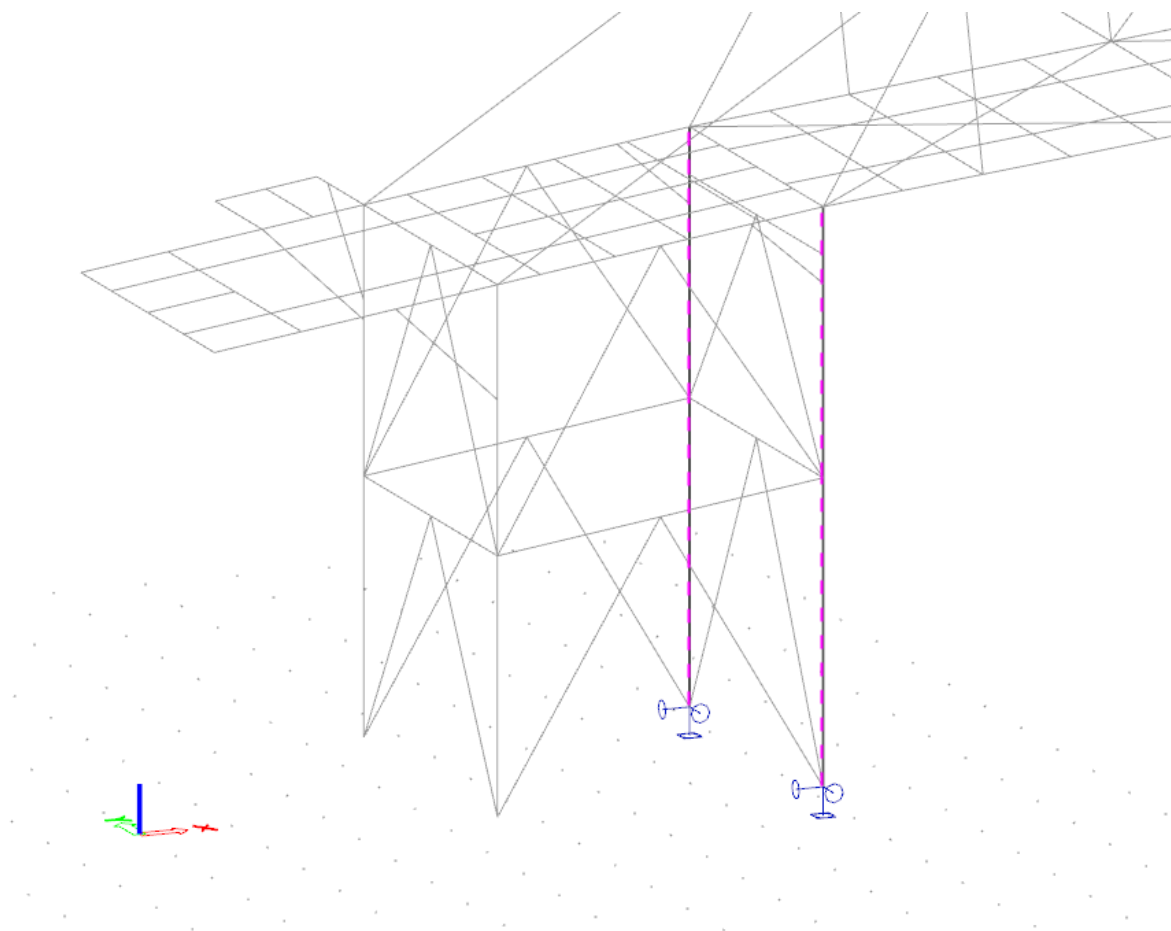
Jméno	Stav	R _x [kN]	R _y [kN]	R _z [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	M _z [kNm]	e _x [mm]	e _y [mm]
Sn4/N136	MSÚ-Sada B (auto)/1	-7,45	0,49	0,32	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
Sn4/N136	MSÚ-Sada B (auto)/2	7,59	-0,38	10,96	0,00	0,00	-0,01	0,0	0,0
Sn4/N136	MSÚ-Sada B (auto)/3	0,02	-2,81	-7,16	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
Sn3/N140	MSÚ-Sada B (auto)/4	-0,28	2,18	-2,34	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
Sn4/N136	MSÚ-Sada B (auto)/5	0,02	-2,80	-7,17	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
Sn3/N140	MSÚ-Sada B (auto)/6	6,98	-0,27	15,79	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
Sn4/N136	MSÚ-Sada B (auto)/7	4,69	-0,62	8,56	0,00	0,00	-0,01	0,0	0,0
Sn4/N136	MSÚ-Sada B (auto)/8	-0,15	1,60	1,14	0,00	0,00	0,01	0,0	0,0

Jméno	Klíč kombinace
MSÚ-Sada B (auto)/1	ZS1 + ZS2 + ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 1.50*ZS8-2 + 0.75*ZS7-5 + 0.90*ZS6-1
MSÚ-Sada B (auto)/2	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-3 + 1.50*ZS4-4 + 1.15*ZS3-2 + 1.50*ZS9-1 + 0.90*ZS6-2 + 1.50*ZS4-5 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-3 + 0.75*ZS7-4
MSÚ-Sada B (auto)/3	ZS1 + ZS2 + ZS3-1 + 1.50*ZS4-3 + ZS3-2 + 0.90*ZS6-2 + 0.75*ZS7-2 + 1.50*ZS10-2
MSÚ-Sada B (auto)/4	ZS1 + ZS2 + ZS3-1 + 1.50*ZS4-3 + 1.50*ZS4-4 + ZS3-2 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-3 + 1.50*ZS11-2 + 0.90*ZS6-1
MSÚ-Sada B (auto)/5	ZS1 + ZS2 + ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS4-3 + ZS3-2 + 0.90*ZS6-2 + 0.75*ZS7-2 + 1.50*ZS10-2
MSÚ-Sada B (auto)/6	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + 1.50*ZS4-4 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 1.50*ZS9-1 + 1.50*ZS4-5 + 0.75*ZS7-3 + 0.75*ZS7-4 + 0.75*ZS7-5 + 0.90*ZS6-1
MSÚ-Sada B (auto)/7	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-3 + 1.50*ZS4-4 + 1.15*ZS3-2 + 0.90*ZS9-1 + 1.50*ZS6-2 + 1.50*ZS4-5 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-3 + 0.75*ZS7-4
MSÚ-Sada B (auto)/8	ZS1 + ZS2 + ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 0.75*ZS7-5 + 0.90*ZS11-2 + 1.50*ZS6-1

Obrázek 56: Reakce na plošině u profilu mimo mostovkou HEA160, výsledky ze softwaru SCIA Engineer

8.2. Posudek vybraných prutů - MSÚ

Posudek sloupů HEB220 levé podpěry je proveden podle normy [5] .



Obrázek 57: Posuzované pruty HEB220, SCIA Engineer

1D vnitřní síly

Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Globální

Výběr: B143, B147

Jméno	dx [m]	Stav	N [kN]	V _y [kN]	V _x [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
B147	0,000	MSÚ-Sada B (auto)/1	-648,97	-4,95	0,31	-0,01	-0,55	1,63
B143	3,222-	MSÚ-Sada B (auto)/2	205,20	4,56	0,26	-0,01	0,98	0,66
B147	5,550+	MSÚ-Sada B (auto)/3	-502,46	-159,36	-36,54	-0,22	-25,97	25,78
B143	5,550+	MSÚ-Sada B (auto)/4	-279,65	38,26	-18,79	0,05	-14,78	1,11
B147	5,250+	MSÚ-Sada B (auto)/5	-509,20	11,80	-36,55	-0,09	-14,92	11,24
B143	5,550+	MSÚ-Sada B (auto)/6	109,08	-121,67	11,47	-0,13	11,00	27,58
B147	5,550+	MSÚ-Sada B (auto)/7	-488,37	-139,54	-34,52	-0,25	-24,33	20,77
B143	5,250+	MSÚ-Sada B (auto)/8	-271,12	1,95	-14,90	0,15	-1,10	9,58
B143	6,050	MSÚ-Sada B (auto)/9	108,86	-120,10	11,44	-0,13	16,77	-32,87
B147	6,050	MSÚ-Sada B (auto)/3	-502,06	-157,86	-36,54	-0,22	-44,24	-53,52
B143	5,550+	MSÚ-Sada B (auto)/10	-231,71	-85,35	-11,39	-0,07	-2,75	29,50

Jméno	Klíč kombinace
MSÚ-Sada B (auto)/1	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + 1.50*ZS4-3 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 1.50*ZS10-1 + 0.90*ZS6-2 + 1.50*ZS4-5 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-4 + 0.75*ZS7-5
MSÚ-Sada B (auto)/2	ZS1 + ZS2 + ZS3-1 + 1.50*ZS4-4 + ZS3-2 + 0.75*ZS7-3 + 1.50*ZS10-2 + 0.90*ZS6-1
MSÚ-Sada B (auto)/3	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + 1.50*ZS4-3 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 1.50*ZS10-1 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-5 + 0.90*ZS6-1
MSÚ-Sada B (auto)/4	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + 1.50*ZS4-3 + 1.15*ZS3-2 + 1.50*ZS7-1 + 0.90*ZS9-1 + 1.50*ZS4-5 + 1.50*ZS7-2 + 1.50*ZS7-4 + 1.50*ZS7-5 + 0.90*ZS6-1
MSÚ-Sada B (auto)/5	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + 1.50*ZS4-3 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 1.50*ZS10-1 + 1.50*ZS4-5 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-4 + 0.75*ZS7-5 + 0.90*ZS6-1
MSÚ-Sada B (auto)/6	ZS1 + ZS2 + ZS3-1 + 1.50*ZS4-4 + ZS3-2 + 0.90*ZS6-2 + 0.75*ZS7-3 + 1.50*ZS10-2
MSÚ-Sada B (auto)/7	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + 1.50*ZS4-3 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 1.50*ZS11-1 + 0.90*ZS6-2 + 1.50*ZS4-5 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-4 + 0.75*ZS7-5
MSÚ-Sada B (auto)/8	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + 1.50*ZS4-3 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 1.50*ZS11-1 + 1.50*ZS4-5 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-4 + 0.75*ZS7-5 + 0.90*ZS6-1
MSÚ-Sada B (auto)/9	ZS1 + ZS2 + ZS3-1 + 1.50*ZS4-4 + ZS3-2 + 0.90*ZS6-2 + 1.50*ZS4-5 + 0.75*ZS7-3 + 0.75*ZS7-4 + 1.50*ZS10-2
MSÚ-Sada B (auto)/10	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-3 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 1.50*ZS10-1 + 0.90*ZS6-2 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-5

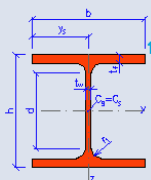
Obrázek 58: Hodnoty vnitřních sil, klíč kombinací a vybrané kombinace pro nejhorší účinek při posudku průřezu a pro posudek stability, SCIA Engineer

Průřez: HEB220

Materiál: S235JR

Třída průřezu: 1

Kritický posudek pro posudek průřezu: vyznačen v Obrázek 58: Hodnoty vnitřních sil, klíč kombinací a vybrané kombinace pro nejhorší účinek při posudku průřezu a pro posudek stability, SCIA Engineer červenou barvou.

HE220B			
Geometrie		Průřezové charakteristiky	
h = 220 mm		Osa y	Osa z
b = 220 mm		$I_y = 8.09E+7 \text{ mm}^4$	$I_z = 2.84E+7 \text{ mm}^4$
$t_f = 16 \text{ mm}$		$W_{y1} = 7.36E+5 \text{ mm}^3$	$W_{z1} = 2.58E+5 \text{ mm}^3$
$t_w = 9.5 \text{ mm}$		$W_{y,pl} = 8.28E+5 \text{ mm}^3$	$W_{z,pl} = 3.92E+5 \text{ mm}^3$
$r_1 = 18 \text{ mm}$		$i_y = 94.30 \text{ mm}$	$i_z = 55.90 \text{ mm}$
$y_s = 110 \text{ mm}$		$S_y = 4.14E+5 \text{ mm}^3$	$S_z = 1.96E+5 \text{ mm}^3$
d = 152 mm		Kroucení a klopení	
$A = 9100 \text{ mm}^2$		$I_w = 2.95E+11 \text{ mm}^6$	$I_t = 7.71E+5 \text{ mm}^4$
$A_L = 1.27 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$	$G = 71.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$	$i_w = 52.00 \text{ mm}$	$i_{pc} = 110.0 \text{ mm}$

Obrázek 59: HEB220 – průřezové charakteristiky, zdroj: staticstools.eu

Prostý tlak:

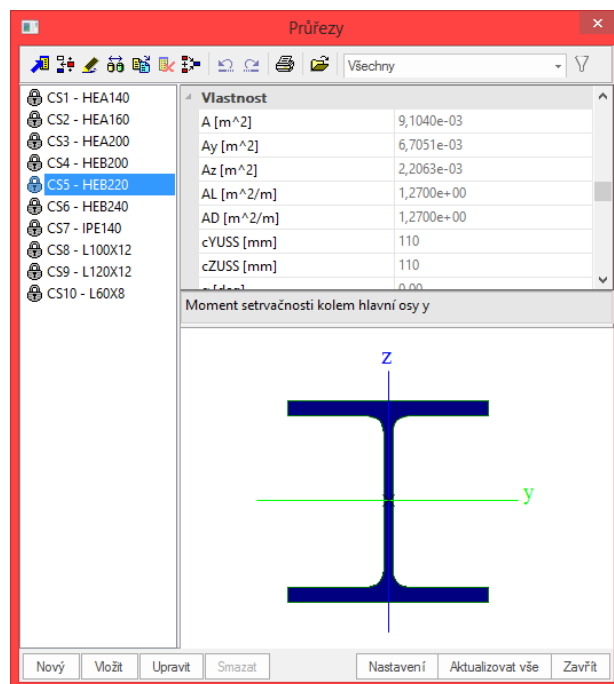
$$N_{Ed} \quad N_{Ed} = -502,06 \text{ kN} \quad (28)$$

$$N_{c,Rd} \quad N_{c,Rd} = (A * f_y) / \gamma_{M0} = (9100 * 235) / 1,0 = 2135800 \text{ N} \quad (29)$$

$$|N_{Ed}| / N_{c,Rd} = 502,06 / 2135,80 = 0,24 < 1,00 \quad (30)$$

Posudek na prostý tlak vyhovuje.

Posouvající síly:



Obrázek 60: Smykové plochy HEB220, SCIA Engineer

Posouvající síla ve směru y:

$$V_{Ed,y} \quad V_{Ed,y} = -157,86 \text{ kN} \quad (31)$$

$$V_{pl,y,Rd} \quad V_{pl,y,Rd} = A_{v,y} * \frac{f_y}{\sqrt{3}} / \gamma_{M0} = 6,7051 * \frac{235}{\sqrt{3}} / 1 = 909,73 \text{ kN} \quad (32)$$

$$\text{J. pos.} \quad |V_{Ed,y}| / V_{pl,y,Rd} = 157,86 / 909,73 = 0,17 < 1,00 \quad (33)$$

Posudek na posouvající sílu ve směru y vyhovuje.

Posouvající síla ve směru z:

$$V_{Ed,z} \quad V_{Ed,z} = -36,54 \text{ kN} \quad (34)$$

$$V_{pl,z,Rd} \quad V_{pl,z,Rd} = A_{v,z} * \frac{f_y}{\sqrt{3}} / \gamma_{M0} = 2,2063 * \frac{235}{\sqrt{3}} / 1 = 299,34 \text{ kN} \quad (35)$$

$$\text{J. pos.} \quad |V_{Ed,z}| / V_{pl,z,Rd} = 36,54 / 299,34 = 0,12 < 1,00 \quad (36)$$

Posudek na posouvající sílu ve směru z vyhovuje.

Ohybové momenty:

Posudek na ohybový moment M_y :

$$M_{Ed,y} \quad M_{Ed,y} = -44,24 \text{ kN} \quad (37)$$

$$M_{pl,y,Rd} \quad M_{pl,y,Rd} = W_{pl,y} * f_y / \gamma_{M0} = 8,28 * 10^{-1} * 235 / 1 \\ = 193,88 \text{ kNm} \quad (38)$$

$$\text{J. pos.} \quad |M_{Ed,y}| / M_{pl,y,Rd} = 44,24 / 193,88 = 0,23 < 1,00 \quad (39)$$

Posudek na ohybový moment ve směru y vyhovuje.

Posudek na ohybový moment M_z :

$$M_{Ed,z} \quad M_{Ed,z} = -53,52 \text{ kN} \quad (40)$$

$$M_{pl,z,Rd} \quad M_{pl,z,Rd} = W_{pl,z} * f_y / \gamma_{M0} = 3,92 * 10^{-1} * 235 / 1 \\ = 92,12 \text{ kNm} \quad (41)$$

$$\text{J. pos.} \quad |M_{Ed,z}| / M_{pl,z,Rd} = 53,52 / 92,12 = 0,58 < 1,00 \quad (42)$$

Posudek na ohybový moment ve směru z vyhovuje.

Krouticí síla je zanedbatelná.

Kombinovaný posudek:

Torzní síla má zanedbatelný charakter, posouvající síly nedosahují více než poloviny únosnosti průřezu, proto jsou do posudku zanedbány.

$$\alpha \quad \alpha = (A - 2 * b * t_f) / A = (9100 - 2 * 220 * 16) / 9100 \\ = 0,23 \quad (43)$$

$$n \quad n = N_{Ed} / N_{pl,Rd} = 0,24 \quad (44)$$

$$M_{N,y,Rd} \quad M_{N,y,Rd} = \min \left(\frac{M_{pl,y,Rd} * (1 - n)}{1 - 0,5 * \alpha}; M_{pl,y,Rd} \right) \quad (45)$$

$$M_{N,y,Rd} = \min\left(\frac{193,88 * (1 - 0,24)}{1 - 0,5 * 0,23}; 193,88\right)$$

$$M_{N,y,Rd} = \min(166,50; 193,88) = 166,50$$

$$M_{N,z,Rd} \quad M_{N,z,Rd} = W_{pl,z} * f_y / \gamma_{M0} = 3,92 * 10^{-1} * 235 / 1 \quad (46)$$

$$= 92,12 \text{ kNm}$$

$$\alpha \quad \alpha = 2,0 \quad (47)$$

$$\beta \quad \beta = 5 * n = 5 * 0,24 = 1,2 \quad (48)$$

$$\text{J. pos.} \quad \left(\frac{|M_{y,Ed}|}{M_{N,y,Rd}}\right)^\alpha + \left(\frac{|M_{z,Ed}|}{M_{N,z,Rd}}\right)^\beta = \left(\frac{44,24}{166,50}\right)^{2,0} + \left(\frac{53,52}{92,12}\right)^{1,2} = 0,59 \quad (49)$$

Stabilita:

Rovinný vzpěr:

Kritický posudek pro posudek rovinného vzpěru: vyznačen v Obrázek 58: Hodnoty vnitřních sil, klíč kombinací a vybrané kombinace pro nejhorší účinek při posudku průřezu a pro posudek stability, SCIA Engineer modrou barvou.

Štíhlost oceli										
Lineární výpočet										
Dílec	Jméno průřezu	Část	Posuvné y	L_y	k_y	i_y	$L_{an,y}$	i_{yz}	LTB	
			Posuvné z	L_z	k_z	i_z	$L_{an,z}$	i_z		
B143	CS5	1	Ne	3,222	0,83	2,671	28,34	3,222	3,222	
			Ne	3,222	0,72	2,332	41,73			
B143	CS5	2	Ne	2,028	0,81	1,641	17,40	2,328	2,328	
			Ne	2,328	0,84	1,956	34,99			
B143	CS5	3	Ne	0,800	0,81	0,648	6,87	2,328	2,328	
			Ne	2,328	0,84	1,956	34,99			
B143	CS5	4	Ne	0,800	0,81	0,648	6,87	0,500	0,500	
			Ne	0,500	0,83	0,413	7,38			
B147	CS5	1	Ne	3,222	0,81	2,605	27,64	3,222	3,222	
			Ne	3,222	0,73	2,359	42,21			
B147	CS5	2	Ne	2,028	0,93	1,883	19,97	2,328	2,328	
			Ne	2,328	0,76	1,769	31,66			
B147	CS5	3	Ne	0,800	0,96	0,767	8,14	2,328	2,328	
			Ne	2,328	0,76	1,769	31,66			
B147	CS5	4	Ne	0,800	0,96	0,767	8,14	0,500	0,500	
			Ne	0,500	0,83	0,416	7,44			

Obrázek 61: Štíhlost HEB220, vyznačen posuzovaný úsek, SCIA Engineer

Ověření hodnot vypočtené softwarem SCIA Engineer:

$$L_{cr,y} \quad L_{cr,y} = L_y * k_y = 3,222 * 0,83 = 2,674 \text{ m} \quad (50)$$

$$\lambda_y \quad \lambda_y = L_{cr,y}/i_y = 2674/94,30 = 28,36 \quad (51)$$

$$L_{cr,z} \quad L_{cr,z} = L_z * k_z = 3,222 * 0,72 = 2,320 \text{ m} \quad (52)$$

$$\lambda_z \quad \lambda_z = L_{cr,z}/i_z = 2320/55,90 = 41,50 \quad (53)$$

Obě štíhlosti λ mají větší hodnotu než 20, posudek tedy proběhne pro oba směry.

Směr y:

$$N_{cr,y} \quad N_{cr,y} = \pi^2 * E * I_y / L_{cr,y}^2 = \pi^2 * 210 * 8,09 * 10^1 / 2,674^2 \quad (54)$$

$$N_{cr,y} = 23450,10 \text{ kN}$$

$$\lambda_{rel,y} \quad \lambda_{rel,y} = \sqrt{A * f_y / N_{cr,y}} = \sqrt{9100 * 235 / 23450100} = 0,30 \quad (55)$$

$$\Phi_y \quad \Phi_y = 0,5 * (1 + \alpha * (\lambda_{rel,y} - 0,2) + \lambda_{rel,y}^2) \quad (56)$$

$$\Phi_y = 0,5 * (1 + 0,34 * (0,3 - 0,2) + 0,3^2) = 0,56$$

$$\chi_y \quad \chi_y = \min \left[1 / \left(\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_{rel,y}^2} \right); 1 \right] \quad (57)$$

$$\chi_y = \min \left[1 / \left(0,56 + \sqrt{0,56^2 - 0,30^2} \right); 1 \right]$$

$$N_{b,y,Rd} \quad N_{b,y,Rd} = \chi_y * A * f_y / \gamma_{M1} = 0,97 * 9100 * 235 / 1 \\ = 2074345 \text{ N}$$

$$J. \text{ pos.} \quad |N_{Ed}| / N_{b,y,Rd} = 502,06 / 2074,35 = 0,31 < 1,00$$

Směr z:

$$N_{cr,z} \quad N_{cr,z} = \pi^2 * E * I_z / L_{cr,z}^2 = \pi^2 * 210 * 2,84 * 10^1 / 2,320^2 \quad (58)$$

$$N_{cr,y} = 10936,07 \text{ kN}$$

$$\lambda_{rel,z} \quad \lambda_{rel,y} = \sqrt{A * f_y / N_{cr,z}} = \sqrt{9100 * 235 / 10936070} = 0,44 \quad (59)$$

$$\Phi_z \quad \Phi_z = 0,5 * (1 + \alpha * (\lambda_{rel,z} - 0,2) + \lambda_{rel,z}^2) \quad (60)$$

$$\Phi_y = 0,5 * (1 + 0,49 * (0,44 - 0,2) + 0,44^2) = 0,64$$

$$\chi_z \quad \chi_z = \min \left[1 / \left(\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_{rel,z}^2} \right); 1 \right] \quad (61)$$

$$\chi_z = \min \left[1 / \left(0,64 + \sqrt{0,64^2 - 0,44^2} \right); 1 \right] \\ = \min[0,91; 1] = 0,91$$

$$N_{b,y,Rd} \quad N_{b,z,Rd} = \chi_z * A * f_y / \gamma_{M1} = 0,91 * 9100 * 235 / 1 \quad (62)$$

$$= 1946035 \text{ N}$$

$$\text{J. pos.} \quad |N_{Ed}| / N_{b,z,Rd} = 502,06 / 1946,04 = 0,33 < 1,00 \quad (63)$$

Pro posudek ohybu a osového tlaku je třeba posudek pro červeně zvýrazněnou kombinaci.

Posudek rovinného vzpěru: vyznačen v Obrázek 58: Hodnoty vnitřních sil, klíč kombinací a vybrané kombinace pro nejhorší účinek při posudku průřezu a pro posudek stability, SCIA Engineer červenou barvou.

Štíhlost oceli									
Lineární výpočet									
Dílec	Jméno průřezu	Část	Posuvné y	l_y [m]	k_y [-]	l_{y1} [m]	$l_{am y}$ [-]	l_{yz} [m]	I_{LTB} [m]
			Posuvné z	l_z [m]	k_z [-]	l_{z1} [m]	$l_{am z}$ [-]		
B143	CS5	1	Ne	3,222	0,83	2,671	28,34	3,222	3,222
			Ne	3,222	0,72	2,332	41,73		
B143	CS5	2	Ne	2,028	0,81	1,641	17,40	2,328	2,328
			Ne	2,328	0,84	1,956	34,99		
B143	CS5	3	Ne	0,800	0,81	0,648	6,87	2,328	2,328
			Ne	2,328	0,84	1,956	34,99		
B143	CS5	4	Ne	0,800	0,81	0,648	6,87	0,500	0,500
			Ne	0,500	0,83	0,413	7,38		
B147	CS5	1	Ne	3,222	0,81	2,605	27,64	3,222	3,222
			Ne	3,222	0,73	2,359	42,21		
B147	CS5	2	Ne	2,028	0,93	1,883	19,97	2,328	2,328
			Ne	2,328	0,76	1,769	31,66		
B147	CS5	3	Ne	0,800	0,96	0,767	8,14	2,328	2,328
			Ne	2,328	0,76	1,769	31,66		
B147	CS5	4	Ne	0,800	0,96	0,767	8,14	0,500	0,500
			Ne	0,500	0,83	0,416	7,44		

Obrázek 62: Štíhlost HEB220, vyznačen posuzovaný úsek, SCIA Engineer

Obě štíhlosti λ mají menší hodnotu než 20, posudek by nemusel probíhat, neboť je zanedbatelný vliv, proběhne však pro vyčíslení hodnot pro následující posudek.

Směr y:

$$N_{cr,y} \quad N_{cr,y} = \pi^2 * E * I_y / L_{cr,y}^2 = \pi^2 * 210 * 8,09 * 10^1 / 0,767^2 \quad (64)$$

$$N_{cr,y} = 285034,46 \text{ kN}$$

$$\lambda_{rel,y} \quad \lambda_{rel,y} = \sqrt{A * f_y / N_{cr,y}} = \sqrt{9100 * 235 / 285034,46} = 0,09 \quad (65)$$

$$\Phi_y \quad \Phi_y = 0,5 * (1 + \alpha * (\lambda_{rel,y} - 0,2) + \lambda_{rel,y}^2) \quad (66)$$

$$\Phi_y = 0,5 * (1 + 0,34 * (0,09 - 0,2) + 0,09^2) = 0,49$$

$$\chi_y \quad \chi_y = \min \left[1 / \left(\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_{rel,y}^2} \right); 1 \right] \quad (67)$$

$$\chi_y = \min \left[1 / \left(0,49 + \sqrt{0,49^2 - 0,09^2} \right); 1 \right] = \min[1,03; 1] = 1$$

$$N_{b,y,Rd} \quad N_{b,y,Rd} = \chi_y * A * f_y / \gamma_{M1} = 1 * 9100 * 235 / 1 = 2138500 \text{ N}$$

$$J. \text{ pos.} \quad |N_{Ed}| / N_{b,y,Rd} = 502,06 / 2138,5 = 0,23 < 1,00$$

Směr z:

$$N_{cr,z} \quad N_{cr,z} = \pi^2 * E * I_z / L_{cr,z}^2 = \pi^2 * 210 * 2,84 * 10^4 / 0,416^2 \quad (68)$$

$$N_{cr,y} = 340599,25 \text{ kN}$$

$$\lambda_{rel,z} \quad \lambda_{rel,z} = \sqrt{A * f_y / N_{cr,z}} = \sqrt{9100 * 235 / 340599,25} = 0,08 \quad (69)$$

$$\Phi_z \quad \Phi_z = 0,5 * (1 + \alpha * (\lambda_{rel,z} - 0,2) + \lambda_{rel,z}^2) \quad (70)$$

$$\Phi_z = 0,5 * (1 + 0,49 * (0,08 - 0,2) + 0,08^2) = 0,47$$

$$\chi_z \quad \chi_z = \min \left[1 / \left(\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_{rel,z}^2} \right); 1 \right] \quad (71)$$

$$\chi_z = \min \left[1 / \left(0,47 + \sqrt{0,47^2 - 0,08^2} \right); 1 \right] = \min[1,07; 1] = 1$$

$$N_{b,y,Rd} \quad N_{b,z,Rd} = \chi_z * A * f_y / \gamma_{M1} = 1 * 9100 * 235 / 1 = 2138500 \text{ N} \quad (72)$$

$$\text{J. pos.} \quad |N_{Ed}| / N_{b,z,Rd} = 502,06 / 2138,5 = 0,23 < 1,00 \quad (73)$$

Prostorový vzpěr:

Průřezy H a I se na prostorový vzpěr neposuzují, vybočí dříve ve směru hlavních os.

Posudek ohybu a osového tlaku:

Kritický posudek pro posudek ohybu a osového tlaku: vyznačen v Obrázek 58: Hodnoty vnitřních sil, klíč kombinací a vybrané kombinace pro nejhorší účinek při posudku průřezu a pro posudek stability, SCIA Engineer červenou barvou.

$$\psi_y \quad \psi_y = 0,34, \text{ Liniový moment} \quad (74)$$

$$\psi_z \quad \psi_z = -0,48, \text{ Liniový moment} \quad (75)$$

$$\psi_{LT} \quad \psi_{LT} = 0,59, \text{ Liniový moment} \quad (76)$$

$$c_{my} \quad c_{my} = \max(0,6 + 0,4 * \psi_y; 0,4) = \max(0,6 + 0,4 * 0,34; 0,4) \quad (77)$$

$$c_{my} = \max(0,74; 0,4) = 0,74$$

$$c_{mz} \quad c_{mz} = \max(0,6 + 0,4 * \psi_z; 0,4) \quad (78)$$

$$= \max(0,6 + 0,4 * (-0,48); 0,4)$$

$$c_{mz} = \max(0,41; 0,4) = 0,41$$

$$c_{mLT} \quad c_{mLT} = \max(0,6 + 0,4 * \psi_{LT}; 0,4) = \max(0,6 + 0,4 * 0,59; 0,4) \quad (79)$$

$$c_{mLT} = \max(0,83; 0,4) = 0,83$$

$$N_{Rk} \quad N_{Rk} = A * f_y = 9100 * 235 = 2135800 \text{ N} \quad (80)$$

$$M_{y,Rk} \quad M_{y,Rk} = W_{pl,y} * f_y = 8,28 * 10^{-1} * 235 = 193,88 \text{ kNm} \quad (81)$$

$$M_{z,Rk} \quad M_{z,Rk} = W_{pl,z} * f_y = 3,92 * 10^{-1} * 235 = 92,12 \text{ kNm} \quad (82)$$

$$\begin{aligned} k_{yy} \quad k_{yy} &= \min \left[c_{my} * \left(1 + (\lambda_{rel,y} - 0,2) * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right); c_{my} \right. \\ &\quad \left. * \left(1 + 0,8 * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \right] \\ &= \min \left[0,74 \right. \\ &\quad \left. * \left(1 + (0,09 - 0,2) * \frac{502,06}{1 * 2135,8/1} \right); 0,74 \right. \\ &\quad \left. * \left(1 + 0,8 * \frac{502,06}{1 * 2135,8/1} \right) \right] = \min[0,72; 0,88] = 0,72 \end{aligned} \quad (83)$$

$$\begin{aligned} k_{zz} \quad k_{zz} &= \min \left[c_{mz} * \left(1 + (2 * \lambda_{rel,z} - 0,6) * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right); c_{mz} \right. \\ &\quad \left. * \left(1 + 1,4 * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \right] \\ &= \min \left[0,41 \right. \\ &\quad \left. * \left(1 + (2 * 0,08 - 0,2) * \frac{502,06}{1 * 2135,8/1} \right); 0,41 \right. \\ &\quad \left. * \left(1 + 1,4 * \frac{502,06}{1 * 2135,8/1} \right) \right] = \min[0,41; 0,54] = 0,41 \end{aligned} \quad (84)$$

$$k_{yz} \quad k_{yz} = 0,6 * k_{zz} = 0,6 * 0,41 = 0,25 \quad (85)$$

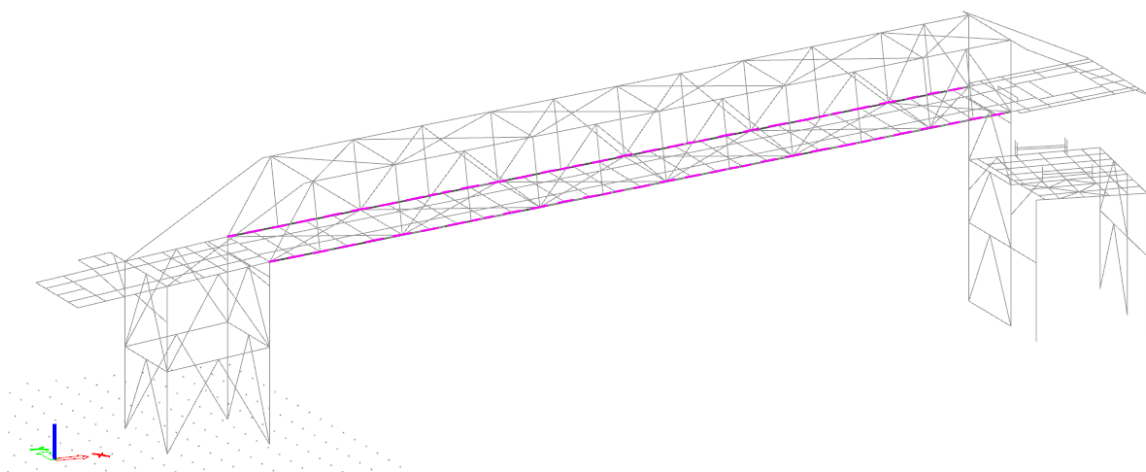
$$k_{zy} \quad k_{zy} = 0,6 * k_{yy} = 0,6 * 0,72 = 0,43 \quad (86)$$

$$\begin{aligned}
\text{Pos. } & \frac{|N_{Ed}|}{\chi_y * \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} * \frac{|M_{y,Ed}| + |\Delta M_{y,Ed}|}{\chi_{LT,mod} * \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} * \frac{|M_{z,Ed}| + |\Delta M_{z,Ed}|}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \\
& = \frac{502,46}{1 * \frac{2135,8}{1}} + 0,72 * \frac{44,24 + 0}{1 * \frac{193,88}{1}} + 0,25 \\
& \quad * \frac{53,52 + 0}{\frac{92,12}{1}} = 0,54 < 1
\end{aligned} \tag{87}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{|N_{Ed}|}{\chi_z * \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} * \frac{|M_{y,Ed}| + |\Delta M_{y,Ed}|}{\chi_{LT,mod} * \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} * \frac{|M_{z,Ed}| + |\Delta M_{z,Ed}|}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \\
& = \frac{502,46}{1 * \frac{2135,8}{1}} + 0,43 * \frac{44,24 + 0}{1 * \frac{193,88}{1}} + 0,41 \\
& \quad * \frac{53,52 + 0}{\frac{92,12}{1}} = 0,57 < 1
\end{aligned} \tag{88}$$

Sloupy HEB220 vyhoví na navrhované zatížení, jejich využití je 65%.

Posudek spodního pásu HEB200 mostovky je proveden podle normy [5] .



Obrázek 63: Posuzované pruty HEB200, SCIA Engineer

1D vnitřní síly

Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Globální

Výběr: B136, B138

Jméno	dx [m]	Stav	N [kN]	V _y [kN]	V _z [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
B136	15,560+	MSÚ-Sada B (auto)/1	-302,47	-5,40	-1,57	0,39	-1,46	-2,41
B138	12,920-	MSÚ-Sada B (auto)/2	717,86	2,13	-1,54	0,06	5,30	-1,10
B136	0,875+	MSÚ-Sada B (auto)/3	-36,60	-20,41	1,00	0,07	-8,64	0,16
B136	25,790	MSÚ-Sada B (auto)/3	29,33	15,32	-27,22	0,03	-31,95	11,75
B136	25,790	MSÚ-Sada B (auto)/4	-56,51	-0,39	-36,40	0,00	-44,20	-0,12
B136	1,750+	MSÚ-Sada B (auto)/5	-66,72	-0,06	15,89	-0,01	-11,17	-3,33
B138	20,590+	MSÚ-Sada B (auto)/6	428,84	3,88	9,00	-0,85	0,21	-4,66
B138	20,110+	MSÚ-Sada B (auto)/7	428,58	-3,76	-7,13	0,87	3,77	-2,85
B136	25,790	MSÚ-Sada B (auto)/8	-59,75	-0,44	-36,38	0,00	-44,20	-0,15
B136	4,620-	MSÚ-Sada B (auto)/9	-73,04	0,44	1,57	0,04	13,81	1,15
B136	1,750-	MSÚ-Sada B (auto)/10	-36,98	-19,35	-1,02	0,08	-8,76	-17,19
B136	0,000	MSÚ-Sada B (auto)/11	-38,72	-18,27	8,05	0,01	-15,23	14,23

Jméno	Klíč kombinace
MSÚ-Sada B (auto)/1	ZS1 + ZS2 + ZS3-1 + 1.50*ZS4-3 + 1.50*ZS4-4 + ZS3-2 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-3 + 1.50*ZS11-2 + 0.90*ZS6-1
MSÚ-Sada B (auto)/2	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 1.50*ZS11-1 + 0.90*ZS6-2 + 1.50*ZS4-5 + 0.75*ZS7-4 + 0.75*ZS7-5
MSÚ-Sada B (auto)/3	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 1.50*ZS10-1 + 0.90*ZS6-2 + 1.50*ZS4-5 + 0.75*ZS7-4 + 0.75*ZS7-5
MSÚ-Sada B (auto)/4	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + 1.50*ZS4-4 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 1.50*ZS11-1 + 0.90*ZS6-2 + 1.50*ZS4-5 + 0.75*ZS7-3 + 0.75*ZS7-4 + 0.75*ZS7-5
MSÚ-Sada B (auto)/5	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 1.50*ZS11-1 + 0.90*ZS6-2 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-5
MSÚ-Sada B (auto)/6	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + 1.50*ZS4-3 + 1.15*ZS3-2 + 1.50*ZS10-1 + 0.90*ZS6-2 + 1.50*ZS4-5 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-4 + 0.75*ZS7-5
MSÚ-Sada B (auto)/7	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + 1.50*ZS4-3 + 1.15*ZS3-2 + 1.50*ZS10-1 + 0.90*ZS6-2 + 1.50*ZS4-5 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-4
MSÚ-Sada B (auto)/8	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + 1.50*ZS4-4 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 1.50*ZS11-1 + 0.90*ZS6-2 + 0.75*ZS7-3 + 0.75*ZS7-5
MSÚ-Sada B (auto)/9	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 1.50*ZS11-1 + 0.90*ZS6-1
MSÚ-Sada B (auto)/10	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 1.50*ZS10-1 + 0.90*ZS6-2 + 1.50*ZS4-5 + 0.75*ZS7-4
MSÚ-Sada B (auto)/11	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + 1.50*ZS4-3 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 1.50*ZS10-1 + 0.90*ZS6-2 + 1.50*ZS4-5 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-4 + 0.75*ZS7-5

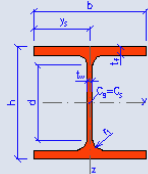
Obrázek 64: Hodnoty vnitřních sil, klíč kombinací a vybrané kombinace pro nejhorší účinek při posudku průřezu, SCIA Engineer

Průřez: HEB200

Materiál: S235JR

Třída průřezu: 1

Kritický posudek pro posudek průřezu: vyznačen v Obrázek 64: Hodnoty vnitřních sil, klíč kombinací a vybrané kombinace pro nejhorší účinek při posudku průřezu, SCIA Engineer červenou barvou.

HEB200B			
Geometrie		Průřezové charakteristiky	
h = 200 mm		Osa y	Osa z
b = 200 mm		$I_y = 5.70E+7 \text{ mm}^4$	$I_z = 2.00E+7 \text{ mm}^4$
$t_f = 15 \text{ mm}$		$W_{y1} = 5.70E+5 \text{ mm}^3$	$W_{z1} = 2.00E+5 \text{ mm}^3$
$t_w = 9 \text{ mm}$		$W_{y,pl} = 6.42E+5 \text{ mm}^3$	$W_{z,pl} = 3.04E+5 \text{ mm}^3$
$r_1 = 18 \text{ mm}$		$i_y = 85.40 \text{ mm}$	$i_z = 50.70 \text{ mm}$
$y_s = 100 \text{ mm}$		$S_y = 3.21E+5 \text{ mm}^3$	$S_z = 1.52E+5 \text{ mm}^3$
d = 134 mm		Kroucení a klopení	
$A = 7810 \text{ mm}^2$		$I_w = 1.71E+11 \text{ mm}^6$	$I_t = 5.96E+5 \text{ mm}^4$
$A_L = 1.15 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$	$G = 61.3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$	$i_w = 47.10 \text{ mm}$	$i_{pc} = 99.30 \text{ mm}$

Obrázek 65: HEB200 – průřezové charakteristiky, zdroj: statictools.eu

Prostý tah:

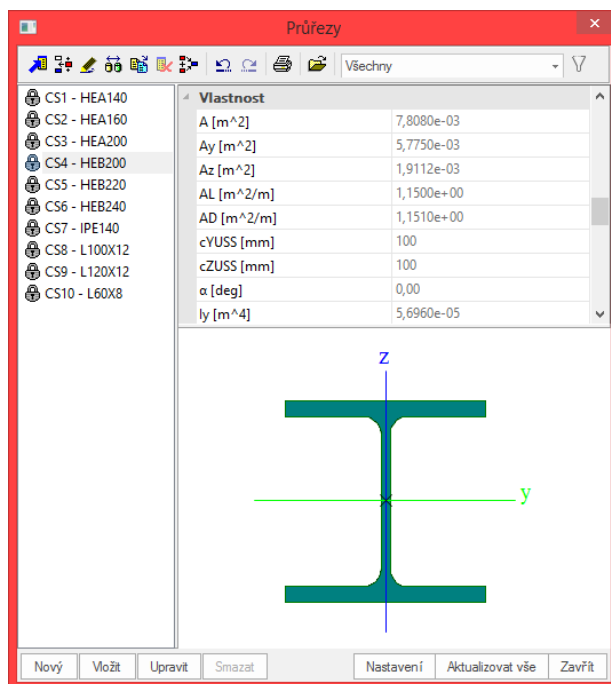
$$N_{Ed} \quad N_{Ed} = 717,86 \text{ kN} \quad (89)$$

$$N_{c,Rd} \quad N_{c,Rd} = (A * f_y) / \gamma_{M0} = (7910 * 235) / 1,0 = 1835350 \text{ N} \quad (90)$$

$$J. p. \quad |N_{Ed}| / N_{c,Rd} = 717,86 / 1835,35 = 0,39 < 1,00 \quad (91)$$

Posudek na prostý tah vyhovuje.

Posouvající síly:



Obrázek 66: Smykové plochy HEB220, SCIA Engineer

Posouvající síla ve směru y:

$$V_{Ed,y} \quad V_{Ed,y} = 2,13 \text{ kN} \quad (92)$$

$$V_{pl,y,Rd} \quad V_{pl,y,Rd} = A_{v,y} * \frac{f_y}{\sqrt{3}} / \gamma_{M0} = 5,7750 * \frac{235}{\sqrt{3}} / 1 = 783,54 \text{ kN} \quad (93)$$

$$\text{J. pos.} \quad |V_{Ed,y}| / V_{pl,y,Rd} = 2,13 / 783,54 = 0,00 < 1,00 \quad (94)$$

Posudek na posouvající sílu ve směru y vyhovuje.

Posouvající síla ve směru z:

$$V_{Ed,z} \quad V_{Ed,z} = -1,57 \text{ kN} \quad (95)$$

$$V_{pl,z,Rd} \quad V_{pl,z,Rd} = A_{v,z} * \frac{f_y}{\sqrt{3}} / \gamma_{M0} = 1,9112 * \frac{235}{\sqrt{3}} / 1 = 259,31 \text{ kN} \quad (96)$$

$$\text{J. pos.} \quad |V_{Ed,z}| / V_{pl,z,Rd} = 1,57 / 259,31 = 0,01 < 1,00 \quad (97)$$

Posudek na posouvající sílu ve směru z vyhovuje.

Ohybové momenty:

Posudek na ohybový moment M_y :

$$M_{Ed,y} \quad M_{Ed,y} = -5,30 \text{ kN} \quad (98)$$

$$M_{pl,y,Rd} \quad M_{pl,y,Rd} = W_{pl,y} * f_y / \gamma_{M0} = 6,42 * 10^{-1} * 235 / 1 \\ = 150,87 \text{ kNm} \quad (99)$$

$$J. \text{ pos.} \quad |M_{Ed,y}| / M_{pl,y,Rd} = 5,30 / 150,87 = 0,04 < 1,00 \quad (100)$$

Posudek na ohybový moment ve směru y vyhovuje.

Posudek na ohybový moment M_z :

$$M_{Ed,z} \quad M_{Ed,z} = -1,10 \text{ kN} \quad (101)$$

$$M_{pl,z,Rd} \quad M_{pl,z,Rd} = W_{pl,z} * f_y / \gamma_{M0} = 3,04 * 10^{-1} * 235 / 1 \\ = 71,44 \text{ kNm} \quad (102)$$

$$J. \text{ pos.} \quad |M_{Ed,z}| / M_{pl,z,Rd} = 1,10 / 71,44 = 0,02 < 1,00 \quad (103)$$

Posudek na ohybový moment ve směru z vyhovuje.

Kroutící síla je zanedbatelná.

Kombinovaný posudek:

Torzní síla má zanedbatelný charakter, posouvající síly nedosahují více než poloviny únosnosti průřezu, proto jsou do posudku zanedbány.

$$\alpha \quad \alpha = (A - 2 * b * t_f) / A = (7810 - 2 * 200 * 15) / 7810 \\ = 0,23 \quad (104)$$

$$n \quad n = N_{Ed} / N_{pl,Rd} = 0,39 \quad (105)$$

$$M_{N,y,Rd} \quad M_{N,y,Rd} = \min \left(\frac{M_{pl,y,Rd} * (1 - n)}{1 - 0,5 * \alpha}; M_{pl,y,Rd} \right) \quad (106)$$

$$M_{N,y,Rd} = \min\left(\frac{150,87 * (1 - 0,39)}{1 - 0,5 * 0,23}; 150,87\right)$$

$$M_{N,y,Rd} = \min(103,99; 150,87) = 103,99$$

$$M_{N,z,Rd} = W_{pl,z} * f_y / \gamma_{M0} = 3,04 * 10^{-1} * 235 / 1 = 71,44 \text{ kNm} \quad (107)$$

$$\alpha = 2,0 \quad (108)$$

$$\beta = 5 * n = 5 * 0,39 = 1,95 \quad (109)$$

$$\text{J. pos.} \quad \left(\frac{|M_{y,Ed}|}{M_{N,y,Rd}}\right)^{\alpha} + \left(\frac{|M_{z,Ed}|}{M_{N,z,Rd}}\right)^{\beta} = \left(\frac{5,30}{103,99}\right)^{2,0} + \left(\frac{1,10}{71,44}\right)^{1,95} \quad (110)$$

Stabilita:

Vzpěr se nevyskytuje, posudek je na tahovou sílu.

Klopení:

Parametry C₁, C₂ a C₃ jsou převzaty ze softwaru SCIA Engineer.

$$k_z = 1 \quad (111)$$

$$k_w = 1 \quad (112)$$

$$L = 0,88 \text{ m} \quad (113)$$

$$G = E / (2 * (1 + \mu)) = 210000 / (2 * (1 + 0,3)) = 80769 \text{ MPa} \quad (114)$$

$$z_g = z_a - z_s = 0 - 0 = 0$$

$$z_j = z_s - \frac{0,5}{I_y} \int (y^2 + x^2) dA = 0 - \frac{0,5}{5,70 * 10^7} \int (0 + 0) dA = 0$$

$$C_1 = 1,04 \quad (115)$$

$$C_2 = 0,01 \quad (116)$$

$$C_3 = 1,0 \quad (117)$$

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w * L} * \sqrt{\frac{E * I_w}{G * I_t}} = \frac{\pi}{1 * 880} * \sqrt{\frac{210000 * 1,71 * 10^{11}}{80769 * 5,96 * 10^5}} \quad (118)$$

$$\zeta_g = \frac{\pi * z_g}{k_z * L} * \sqrt{\frac{E * I_z}{G * I_t}} = \frac{\pi * 0}{1 * 880} * \sqrt{\frac{210000 * 2,00 * 10^7}{80769 * 5,96 * 10^5}} = 0 \quad (119)$$

$$\zeta_j = \frac{\pi * z_j}{k_z * L} * \sqrt{\frac{E * I_z}{G * I_t}} = \frac{\pi * 0}{1 * 880} * \sqrt{\frac{210000 * 2,00 * 10^7}{80769 * 5,96 * 10^5}} = 0 \quad (120)$$

$$\begin{aligned} \mu_{cr} &= \frac{C_1}{k_z} * \left[\sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 * \zeta_g - C_3 * \zeta_j)^2} \right. \\ &\quad \left. - (C_2 * \zeta_g - C_3 * \zeta_j) \right] \\ &= \frac{1,04}{1} \\ &\quad * \left[\sqrt{1 + 3,1^2 + (0,01 * 0 - 1 * 0)^2} \right. \\ &\quad \left. - (0,01 * 0 - 1 * 0) \right] = 3,39 \end{aligned} \quad (121)$$

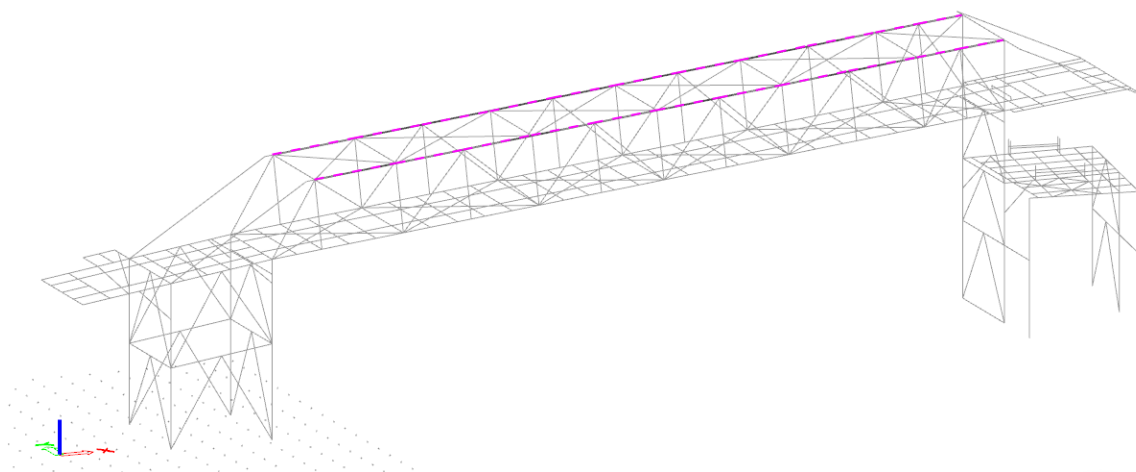
$$\begin{aligned}
M_{cr} \quad M_{cr} &= \mu_{cr} * \frac{\pi * \sqrt{E * I_z * G * I_t}}{L} & (122) \\
&= 3,31 \\
&\quad * \frac{\pi * \sqrt{210000 * 2 * 10^7 * 80769 * 5,96 * 10^5}}{880} \\
&\quad * 10^{-6} = 5394,04 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\lambda_{rel,LT} \quad \lambda_{rel,LT} &= \sqrt{W_{y.pl} * f_y / M_{cr}} & (123) \\
&= \sqrt{6,42 * 10^{-4} * 235 / 5394,04 * 10^3} = 0,17
\end{aligned}$$

$\lambda_{rel,LT}$ je menší než $\lambda_{rel,LT,0} = 0,4$, vliv klopení se může zanedbat.

Průřez vyhoví na dané zatížení, využití průřezu dolního pásu mostovky HEB200 je 39%.

Posudek horního pásu HEB200 mostovky je proveden podle normy [5] .



Obrázek 67: Posuzované pruty HEB200, SCIA Engineer

1D vnitřní síly

Lineární výpočet
Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)
Souřadný systém: Hlavní
Extrém 1D: Globální
Výběr: B137, B139

Jméno	dx [m]	Stav	N [kN]	V _y [kN]	V _z [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
B137	9,850+	MSÚ-Sada B (auto)/1	-605,87	4,31	6,99	0,10	-1,87	-6,50
B139	14,250+	MSÚ-Sada B (auto)/2	100,37	3,42	-3,07	0,07	3,41	-3,67
B137	16,450+	MSÚ-Sada B (auto)/3	-420,30	-11,27	-1,56	-0,03	5,51	10,49
B137	24,288	MSÚ-Sada B (auto)/4	14,75	10,42	-1,03	-0,08	0,48	19,87
B139	22,730-	MSÚ-Sada B (auto)/5	-207,30	-6,40	-8,37	0,15	-4,70	-4,52
B139	22,730+	MSÚ-Sada B (auto)/6	57,12	-4,20	-1,14	-0,12	-2,12	-2,00
B139	21,230+	MSÚ-Sada B (auto)/7	-179,72	-6,61	-5,82	0,16	5,16	5,26
B139	0,000	MSÚ-Sada B (auto)/8	-265,82	3,24	14,08	-0,02	-21,94	-7,01
B139	2,870-	MSÚ-Sada B (auto)/9	-266,69	3,27	9,08	-0,02	10,79	2,38
B139	24,288	MSÚ-Sada B (auto)/10	36,91	-7,33	1,29	0,00	0,63	-16,16
B137	24,288	MSÚ-Sada B (auto)/11	13,95	10,34	1,02	-0,09	2,83	19,97

Jméno	Klíč kombinace
MSÚ-Sada B (auto)/1	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 1.50*ZS11-1 + 0.90*ZS6-2 + 0.75*ZS7-5
MSÚ-Sada B (auto)/2	ZS1 + ZS2 + ZS3-1 + 1.50*ZS4-3 + 1.50*ZS4-4 + ZS3-2 + 1.50*ZS4-5 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-3 + 0.75*ZS7-4 + 1.50*ZS11-2 + 0.90*ZS6-1
MSÚ-Sada B (auto)/3	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + 1.50*ZS4-3 + 1.50*ZS4-4 + 1.15*ZS3-2 + 1.50*ZS10-1 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-3 + 0.90*ZS6-1
MSÚ-Sada B (auto)/4	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + 1.50*ZS4-3 + 1.50*ZS4-4 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 1.50*ZS10-1 + 0.90*ZS6-2 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-3
MSÚ-Sada B (auto)/5	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + 1.50*ZS4-4 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 1.50*ZS10-1 + 0.75*ZS7-3 + 0.75*ZS7-5 + 0.90*ZS6-1
MSÚ-Sada B (auto)/6	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-3 + 1.15*ZS3-2 + 1.50*ZS10-1 + 1.50*ZS4-5 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-4 + 0.90*ZS6-1
MSÚ-Sada B (auto)/7	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS4-3 + 1.50*ZS4-4 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 1.50*ZS10-1 + 0.90*ZS6-2 + 1.50*ZS4-5 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-3 + 0.75*ZS7-4 + 0.75*ZS7-5
MSÚ-Sada B (auto)/8	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 1.50*ZS10-1 + 1.50*ZS4-5 + 0.75*ZS7-4 + 0.90*ZS6-1
MSÚ-Sada B (auto)/9	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 1.50*ZS10-1 + 0.75*ZS7-5 + 0.90*ZS6-1
MSÚ-Sada B (auto)/10	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-3 + 1.50*ZS4-4 + 1.15*ZS3-2 + 1.50*ZS9-1 + 1.50*ZS4-5 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-3 + 0.75*ZS7-4 + 0.90*ZS6-1
MSÚ-Sada B (auto)/11	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-3 + 1.50*ZS4-4 + 1.15*ZS3-2 + 1.50*ZS10-1 + 0.90*ZS6-2 + 1.50*ZS4-5 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-3 + 0.75*ZS7-4

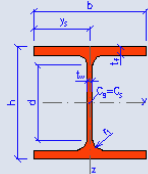
Obrázek 68: Hodnoty vnitřních sil, klíč kombinací a vybrané kombinace pro nejhorší účinek při posudku průřezu, SCIA Engineer

Průřez: HEB200

Materiál: S235JR

Třída průřezu: 1

Kritický posudek pro posudek průřezu: vyznačen v Obrázek 64: Hodnoty vnitřních sil, klíč kombinací a vybrané kombinace pro nejhorší účinek při posudku průřezu, SCIA Engineer červenou barvou.

HEB200B			
Geometrie		Průřezové charakteristiky	
h = 200 mm		Osa y	Osa z
b = 200 mm		$I_y = 5.70E+7 \text{ mm}^4$	$I_z = 2.00E+7 \text{ mm}^4$
$t_f = 15 \text{ mm}$		$W_{y1} = 5.70E+5 \text{ mm}^3$	$W_{z1} = 2.00E+5 \text{ mm}^3$
$t_w = 9 \text{ mm}$		$W_{y,pl} = 6.42E+5 \text{ mm}^3$	$W_{z,pl} = 3.04E+5 \text{ mm}^3$
$r_1 = 18 \text{ mm}$		$i_y = 85.40 \text{ mm}$	$i_z = 50.70 \text{ mm}$
$y_s = 100 \text{ mm}$		$S_y = 3.21E+5 \text{ mm}^3$	$S_z = 1.52E+5 \text{ mm}^3$
d = 134 mm		Kroucení a klopení	
A = 7810 mm ²		$I_w = 1.71E+11 \text{ mm}^6$	$I_t = 5.96E+5 \text{ mm}^4$
$A_L = 1.15 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$	G = 61.3 kg.m ⁻¹	$i_w = 47.10 \text{ mm}$	$i_{pc} = 99.30 \text{ mm}$

Obrázek 69: HEB200 – průřezové charakteristiky, zdroj: statictools.eu

Prostý tlak:

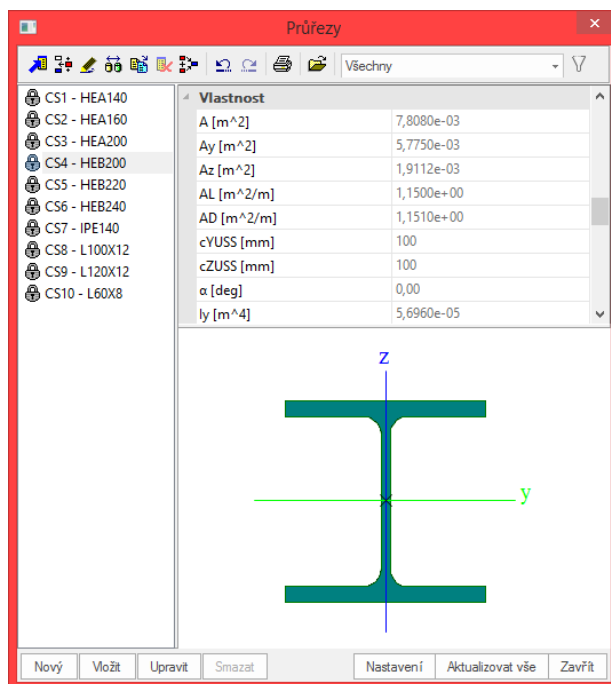
$$N_{Ed} \quad N_{Ed} = -605,87 \text{ kN} \quad (124)$$

$$N_{c,Rd} \quad N_{c,Rd} = (A * f_y) / \gamma_{M0} = (7910 * 235) / 1,0 = 1835350 \text{ N} \quad (125)$$

$$J. p. \quad |N_{Ed}| / N_{c,Rd} = 605,87 / 1835,35 = 0,33 < 1,00 \quad (126)$$

Posudek na prostý tah vyhovuje.

Posouvající síly:



Obrázek 70: Smykové plochy HEB220, SCIA Engineer

Posouvající síla ve směru y:

$$V_{Ed,y} \quad V_{Ed,y} = 4,31 \text{ kN} \quad (127)$$

$$V_{pl,y,Rd} \quad V_{pl,y,Rd} = A_{v,y} * \frac{f_y}{\sqrt{3}} / \gamma_{M0} = 5,7750 * \frac{235}{\sqrt{3}} / 1 = 783,54 \text{ kN} \quad (128)$$

$$\text{J. pos.} \quad |V_{Ed,y}| / V_{pl,y,Rd} = 4,31 / 783,54 = 0,01 < 1,00 \quad (129)$$

Posudek na posouvající sílu ve směru y vyhovuje.

Posouvající síla ve směru z:

$$V_{Ed,z} \quad V_{Ed,z} = 6,99 \text{ kN} \quad (130)$$

$$V_{pl,z,Rd} \quad V_{pl,z,Rd} = A_{v,z} * \frac{f_y}{\sqrt{3}} / \gamma_{M0} = 1,9112 * \frac{235}{\sqrt{3}} / 1 = 259,31 \text{ kN} \quad (131)$$

$$\text{J. pos.} \quad |V_{Ed,z}| / V_{pl,z,Rd} = 6,99 / 259,31 = 0,03 < 1,00 \quad (132)$$

Posudek na posouvající sílu ve směru z vyhovuje.

Ohybové momenty:

Posudek na ohybový moment M_y :

$$M_{Ed,y} \quad M_{Ed,y} = -1,87 \text{ kN} \quad (133)$$

$$M_{pl,y,Rd} \quad M_{pl,y,Rd} = W_{pl,y} * f_y / \gamma_{M0} = 6,42 * 10^{-1} * 235 / 1 \\ = 150,87 \text{ kNm} \quad (134)$$

$$\text{J. pos.} \quad |M_{Ed,y}| / M_{pl,y,Rd} = 1,87 / 150,87 = 0,01 < 1,00 \quad (135)$$

Posudek na ohybový moment ve směru y vyhovuje.

Posudek na ohybový moment M_z :

$$M_{Ed,z} \quad M_{Ed,z} = -6,50 \text{ kN} \quad (136)$$

$$M_{pl,z,Rd} \quad M_{pl,z,Rd} = W_{pl,z} * f_y / \gamma_{M0} = 3,04 * 10^{-1} * 235 / 1 \\ = 71,44 \text{ kNm} \quad (137)$$

$$\text{J. pos.} \quad |M_{Ed,z}| / M_{pl,z,Rd} = 6,50 / 71,44 = 0,09 < 1,00 \quad (138)$$

Posudek na ohybový moment ve směru z vyhovuje.

Kroutící síla je zanedbatelná.

Kombinovaný posudek:

Torzní síla má zanedbatelný charakter, posouvající síly nedosahují více než poloviny únosnosti průřezu, proto jsou do posudku zanedbány.

$$\alpha \quad \alpha = (A - 2 * b * t_f) / A = (7810 - 2 * 200 * 15) / 7810 \\ = 0,23 \quad (139)$$

$$n \quad n = N_{Ed} / N_{pl,Rd} = 0,33 \quad (140)$$

$$M_{N,y,Rd} \quad M_{N,y,Rd} = \min \left(\frac{M_{pl,y,Rd} * (1 - n)}{1 - 0,5 * \alpha}; M_{pl,y,Rd} \right) \quad (141)$$

$$M_{N,y,Rd} = \min\left(\frac{150,87 * (1 - 0,33)}{1 - 0,5 * 0,23}; 150,87\right)$$

$$M_{N,y,Rd} = \min(114,22; 150,87) = 114,22$$

$$M_{N,z,Rd} = W_{pl,z} * f_y / \gamma_{M0} = 3,04 * 10^{-1} * 235 / 1 = 71,44 \text{ kNm} \quad (142)$$

$$\alpha = 2,0 \quad (143)$$

$$\beta = 5 * n = 5 * 0,33 = 1,65 \quad (144)$$

$$\text{J. pos.} \quad \left(\frac{|M_{y,Ed}|}{M_{N,y,Rd}}\right)^{\alpha} + \left(\frac{|M_{z,Ed}|}{M_{N,z,Rd}}\right)^{\beta} = \left(\frac{1,87}{103,99}\right)^{2,0} + \left(\frac{6,50}{71,44}\right)^{1,65} = 0,02 \quad (145)$$

Stabilita:

Rovinný vzpěr:

Kritický posudek pro posudek rovinného vzpěru: vyznačen v Obrázek 58: Hodnoty vnitřních sil, klíč kombinací a vybrané kombinace pro nejhorší účinek při posudku průřezu a pro posudek stability, SCIA Engineer modrou barvou.

Štíhlost oceli									
Lineární výpočet									
Dílec	Jméno průřezu	Část	Posuvné y	L_y [m]	k_y [-]	i_y [m]	$L_{cr,y}$ [m]	i_{yz} [m]	I_{LTB} [m]
			Posuvné z	L_z [m]	k_z [-]	i_z [m]	$L_{cr,z}$ [m]		
B143	CS5	1	Ne	3,222	0,83	2,671	28,34	3,222	3,222
			Ne	3,222	0,72	2,332	41,73		
B143	CS5	2	Ne	2,028	0,81	1,641	17,40	2,328	2,328
			Ne	2,328	0,84	1,956	34,99		
B143	CS5	3	Ne	0,800	0,81	0,648	6,87	2,328	2,328
			Ne	2,328	0,84	1,956	34,99		
B143	CS5	4	Ne	0,800	0,81	0,648	6,87	0,500	0,500
			Ne	0,500	0,83	0,413	7,38		
B147	CS5	1	Ne	3,222	0,81	2,605	27,64	3,222	3,222
			Ne	3,222	0,73	2,359	42,21		
B147	CS5	2	Ne	2,028	0,93	1,883	19,97	2,328	2,328
			Ne	2,328	0,76	1,769	31,66		
B147	CS5	3	Ne	0,800	0,96	0,767	8,14	2,328	2,328
			Ne	2,328	0,76	1,769	31,66		
B147	CS5	4	Ne	0,800	0,96	0,767	8,14	0,500	0,500
			Ne	0,500	0,83	0,416	7,44		

Obrázek 71: Štíhlost HEB220, vyznačen posuzovaný úsek, SCIA Engineer

Ověření hodnot vypočtené softwarem SCIA Engineer:

$$L_{cr,y} \quad L_{cr,y} = L_y * k_y = 3,222 * 0,83 = 2,674 \text{ m} \quad (146)$$

$$\lambda_y \quad \lambda_y = L_{cr,y} / i_y = 2674 / 94,30 = 28,36 \quad (147)$$

$$L_{cr,z} \quad L_{cr,z} = L_z * k_z = 3,222 * 0,72 = 2,320 \text{ m} \quad (148)$$

$$\lambda_z \quad \lambda_z = L_{cr,z} / i_z = 2320 / 55,90 = 41,50 \quad (149)$$

Obě štíhlosti λ mají větší hodnotu než 20, posudek tedy proběhne pro oba směry.

Směr y:

$$N_{cr,y} \quad N_{cr,y} = \pi^2 * E * I_y / L_{cr,y}^2 = \pi^2 * 210 * 8,09 * 10^1 / 2,674^2 \quad (150)$$

$$N_{cr,y} = 23450,10 \text{ kN}$$

$$\lambda_{rel,y} \quad \lambda_{rel,y} = \sqrt{A * f_y / N_{cr,y}} = \sqrt{9100 * 235 / 23450100} = 0,30 \quad (151)$$

$$\Phi_y \quad \Phi_y = 0,5 * (1 + \alpha * (\lambda_{rel,y} - 0,2) + \lambda_{rel,y}^2) \quad (152)$$

$$\Phi_y = 0,5 * (1 + 0,34 * (0,3 - 0,2) + 0,3^2) = 0,56$$

$$\chi_y \quad \chi_y = \min \left[1 / \left(\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_{rel,y}^2} \right); 1 \right] \quad (153)$$

$$\chi_y = \min \left[1 / \left(0,56 + \sqrt{0,56^2 - 0,30^2} \right); 1 \right]$$

$$N_{b,y,Rd} \quad N_{b,y,Rd} = \chi_y * A * f_y / \gamma_{M1} = 0,97 * 9100 * 235 / 1 \quad (154)$$

$$= 2074345 \text{ N}$$

$$J. \text{ pos.} \quad |N_{Ed}| / N_{b,y,Rd} = 502,06 / 2074,35 = 0,31 < 1,00 \quad (155)$$

Směr z:

$$N_{cr,z} \quad N_{cr,z} = \pi^2 * E * I_z / L_{cr,z}^2 = \pi^2 * 210 * 2,84 * 10^1 / 2,320^2 \quad (156)$$

$$N_{cr,y} = 10936,07 \text{ kN}$$

$$\lambda_{rel,z} \quad \lambda_{rel,y} = \sqrt{A * f_y / N_{cr,z}} = \sqrt{9100 * 235 / 10936070} = 0,44 \quad (157)$$

$$\Phi_z \quad \Phi_z = 0,5 * (1 + \alpha * (\lambda_{rel,z} - 0,2) + \lambda_{rel,z}^2) \quad (158)$$

$$\Phi_y = 0,5 * (1 + 0,49 * (0,44 - 0,2) + 0,44^2) = 0,64$$

$$\chi_z \quad \chi_z = \min \left[1 / \left(\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_{rel,z}^2} \right); 1 \right] \quad (159)$$

$$\chi_z = \min \left[1 / \left(0,64 + \sqrt{0,64^2 - 0,44^2} \right); 1 \right]$$

$$N_{b,y,Rd} \quad N_{b,z,Rd} = \chi_z * A * f_y / \gamma_{M1} = 0,91 * 9100 * 235 / 1 \quad (160)$$

$$= 1946035 \text{ N}$$

$$\text{J. pos.} \quad |N_{Ed}| / N_{b,z,Rd} = 502,06 / 1946,04 = 0,33 < 1,00 \quad (161)$$

Pro posudek ohybu a osového tlaku je třeba posudek pro červeně zvýrazněnou kombinaci.

Posudek rovinného vzpěru: vyznačen v Obrázek 68: Hodnoty vnitřních sil, klíč kombinací a vybrané kombinace pro nejhorší účinek při posudku průřezu, SCIA Engineer červenou barvou.

Štíhlost oceli

Lineární výpočet

Dílec	Jméno průřezu	Část	Posuvné y Posuvné z	λ_y [m] λ_z [m]	k_y [-] k_z [-]	λ_y [m] λ_z [m]	$\lambda_{m y}$ [-] $\lambda_{m z}$ [-]	λ_{yz} [m]	LTB [m]
B119	CS3	1	Ano Ne	0,300 0,300	5,28 0,99	1,584 0,296	19,13 5,93	0,300	0,300
B124	CS3	1	Ano Ne	0,300 0,300	3,17 0,99	0,952 0,296	11,49 5,92	0,300	0,300
B137	CS4	1	Ne Ne	2,870 2,870	0,94 0,65	2,691 1,855	31,51 36,63	2,870	2,870
B137	CS4	2	Ne Ne	2,390 4,780	0,78 0,54	1,871 2,574	21,90 50,83	4,780	4,780
B137	CS4	3	Ne Ne	2,390 4,780	0,78 0,54	1,868 2,574	21,87 50,83	4,780	4,780
B137	CS4	4	Ne Ne	2,200 4,400	0,96 0,51	2,116 2,257	24,77 44,57	4,400	4,400
B137	CS4	5	Ne Ne	2,200 4,400	0,70 0,51	1,532 2,257	17,94 44,57	4,400	4,400
B137	CS4	6	Ne Ne	2,200 4,400	0,91 0,51	2,012 2,243	23,56 44,29	4,400	4,400
B137	CS4	7	Ne Ne	2,200 4,400	0,59 0,51	1,300 2,243	15,22 44,29	4,400	4,400
B137	CS4	8	Ne Ne	2,390 4,780	0,72 0,54	1,731 2,571	20,27 50,77	4,780	4,780
B137	CS4	9	Ne Ne	2,390 4,780	0,77 0,54	1,842 2,571	21,56 50,77	4,780	4,780
B137	CS4	10	Ne Ne	1,500 3,058	0,77 0,61	1,159 1,860	13,57 36,73	3,058	3,058
B137	CS4	11	Ne Ne	1,558 3,058	0,78 0,61	1,208 1,860	14,15 36,73	3,058	3,058
B139	CS4	1	Ne Ne	2,870 2,870	0,80 0,65	2,287 1,861	26,78 36,74	2,870	2,870
B139	CS4	2	Ne Ne	2,390 4,780	0,84 0,54	1,997 2,578	23,38 50,91	4,780	4,780
B139	CS4	3	Ne Ne	2,390 4,780	0,95 0,54	2,260 2,578	26,46 50,91	4,780	4,780
B139	CS4	4	Ne Ne	2,200 4,400	0,70 0,51	1,535 2,250	17,97 44,43	4,400	4,400
B139	CS4	5	Ne Ne	2,200 4,400	0,77 0,51	1,696 2,250	19,86 44,43	4,400	4,400
B139	CS4	6	Ne Ne	2,200 4,400	0,73 0,51	1,603 2,243	18,76 44,28	4,400	4,400
B139	CS4	7	Ne Ne	2,200 4,400	0,90 0,51	1,977 2,243	23,15 44,28	4,400	4,400
B139	CS4	8	Ne Ne	2,390 4,780	0,88 0,53	2,094 2,555	24,51 50,44	4,780	4,780
B139	CS4	9	Ne Ne	2,390 4,780	0,94 0,53	2,252 2,555	26,36 50,44	4,780	4,780
B139	CS4	10	Ne Ne	1,500 3,058	0,97 0,63	1,458 1,939	17,07 38,29	3,058	3,058
B139	CS4	11	Ne Ne	1,558 3,058	0,97 0,63	1,505 1,939	17,62 38,29	3,058	3,058

Obrázek 72: Štíhlost HEB200, vyznačen posuzovaný úsek, SCIA Engineer

Štíhlost λ_y má menší hodnotu než 20, posudek by nemusel probíhat, neboť je zanedbatelný vliv, proběhne však pro vyčíslení hodnot pro následující posudek.

Směr y:

$$N_{cr,y} \quad N_{cr,y} = \pi^2 * E * I_y / L_{cr,y}^2 = \pi^2 * 210 * 5,70 * 10^1 / 1,532^2 \quad (162)$$

$$N_{cr,y} = 50335,73 \text{ kN}$$

$$\lambda_{rel,y} \quad \lambda_{rel,y} = \sqrt{A * f_y / N_{cr,y}} = \sqrt{7810 * 235 / 50335,73} = 0,19 \quad (163)$$

$$\Phi_y \quad \Phi_y = 0,5 * (1 + \alpha * (\lambda_{rel,y} - 0,2) + \lambda_{rel,y}^2) \quad (164)$$

$$\Phi_y = 0,5 * (1 + 0,34 * (0,19 - 0,2) + 0,19^2) = 0,52$$

$$\chi_y \quad \chi_y = \min \left[1 / \left(\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_{rel,y}^2} \right); 1 \right] \quad (165)$$

$$\chi_y = \min \left[1 / \left(0,52 + \sqrt{0,52^2 - 0,19^2} \right); 1 \right] = \min[1; 1] = 1$$

$$N_{b,y,Rd} \quad N_{b,y,Rd} = \chi_y * A * f_y / \gamma_{M1} = 1 * 7810 * 235 / 1 = 1835350 \text{ N} \quad (166)$$

$$J. \text{ pos.} \quad |N_{Ed}| / N_{b,y,Rd} = 605,87 / 1835,35 = 0,33 < 1,00 \quad (167)$$

Směr z:

$$N_{cr,z} \quad N_{cr,z} = \pi^2 * E * I_z / L_{cr,z}^2 = \pi^2 * 210 * 2,00 * 10^1 / 2,257^2 \quad (168)$$

$$N_{cr,z} = 8146,61 \text{ kN}$$

$$\lambda_{rel,z} \quad \lambda_{rel,z} = \sqrt{A * f_y / N_{cr,z}} = \sqrt{7810 * 235 / 8146,61} = 0,47 \quad (169)$$

$$\Phi_z \quad \Phi_z = 0,5 * (1 + \alpha * (\lambda_{rel,z} - 0,2) + \lambda_{rel,z}^2) \quad (170)$$

$$\Phi_z = 0,5 * (1 + 0,49 * (0,47 - 0,2) + 0,47^2) = 0,68$$

$$\chi_z \quad \chi_z = \min \left[1 / \left(\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_{rel,z}^2} \right); 1 \right] \quad (171)$$

$$\chi_z = \min \left[1 / \left(0,68 + \sqrt{0,68^2 - 0,47^2} \right); 1 \right]$$

$$N_{b,y,Rd} \quad N_{b,z,Rd} = \chi_z * A * f_y / \gamma_{M1} = 0,85 * 7810 * 235 / 1 \quad (172)$$

$$= 1560048 \text{ N}$$

$$J. \text{ pos.} \quad |N_{Ed}| / N_{b,z,Rd} = 605,87 / 1560,05 = 0,39 < 1,00 \quad (173)$$

Prostorový vzpěr:

Průřezy H a I se na prostorový vzpěr neposuzují, vybočí dříve ve směru hlavních os.

Posudek ohybu a osového tlaku:

Kritický posudek pro posudek ohybu a osového tlaku: vyznačen v Obrázek 58: Hodnoty vnitřních sil, klíč kombinací a vybrané kombinace pro nejhorší účinek při posudku průřezu a pro posudek stability, SCIA Engineer červenou barvou.

$$\alpha_{s,y} \quad \alpha_{s,y} = M_{s,y} / M_{h,y} = 3,40 / 7,15 = 0,47, \text{ Liniové zatížení} \quad (174)$$

$$\alpha_{s,z} \quad \alpha_{s,z} = M_{s,z} / M_{h,z} = -6,50 / 8,58 = -0,76, \text{ Bodové zatížení} \quad (175)$$

$$\alpha_{s,LT} \quad \alpha_{s,LT} = M_{s,LT} / M_{h,LT} = -1,85 / 7,15 = -0,26, \text{ Bodové zatížení} \quad (176)$$

$$c_{my} \quad c_{my} = \max(0,2 + 0,8 * \alpha_{s,y}; 0,4) \quad (177)$$

$$= \max(0,2 + 0,8 * (0,47); 0,4)$$

$$c_{my} = \max(0,58; 0,4) = 0,58$$

$$c_{mz} \quad c_{mz} = \max(-0,8 * \alpha_{s,z}; 0,4) = \max(-0,8 * (-0,76); 0,4) \quad (178)$$

$$c_{mz} = \max(0,61; 0,4) = 0,61$$

$$c_{mLT} = \max(-0,8 * \alpha_{s,LT}; 0,4) = \max(-0,8 * (-0,26); 0,4) \quad (179)$$

$$c_{mLT} = \max(0,21; 0,4) = 0,4$$

$$N_{Rk} = A * f_y = 7810 * 235 = 1835350 \text{ N} \quad (180)$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} * f_y = 6,42 * 10^{-1} * 235 = 150,87 \text{ kNm} \quad (181)$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} * f_y = 3,04 * 10^{-1} * 235 = 71,44 \text{ kNm} \quad (182)$$

$$\begin{aligned} k_{yy} \quad k_{yy} &= \min \left[c_{my} * \left(1 + (\lambda_{rel,y} - 0,2) * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right); c_{my} \right. \\ &\quad \left. * \left(1 + 0,8 * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \right] \\ &= \min [0,58 \\ &\quad * \left(1 + (0,19 - 0,2) * \frac{605,87}{1 * 1835,35 / 1} \right); 0,58 \\ &\quad * \left(1 + 0,8 * \frac{605,87}{1 * 1835,35 / 1} \right)] = \min[0,58; 0,73] \\ &= 0,58 \end{aligned} \quad (183)$$

$$\begin{aligned} k_{zz} \quad k_{zz} &= \min \left[c_{mz} * \left(1 + (2 * \lambda_{rel,z} - 0,6) * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right); c_{mz} \right. \\ &\quad \left. * \left(1 + 1,4 * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \right] \\ &= \min [0,61 \\ &\quad * \left(1 + (2 * 0,47 - 0,6) * \frac{605,87}{0,85 * 1835,35 / 1} \right); 0,41 \\ &\quad * \left(1 + 1,4 * \frac{605,87}{0,85 * 1835,35 / 1} \right)] = \min[0,69; 0,94] \\ &= 0,69 \end{aligned} \quad (184)$$

$$k_{yz} = 0,6 * k_{zz} = 0,6 * 0,69 = 0,41 \quad (185)$$

$$k_{zy} = 0,6 * k_{yy} = 0,6 * 0,58 = 0,35 \quad (186)$$

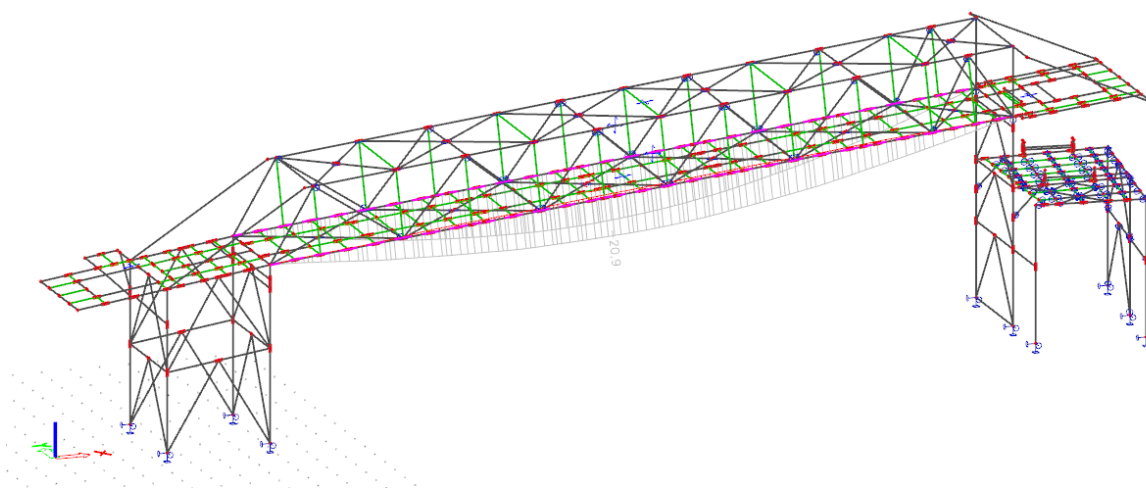
$$\begin{aligned}
\text{P. 1} \quad & \frac{|N_{Ed}|}{\chi_y * \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} * \frac{|M_{y,Ed}| + |\Delta M_{y,Ed}|}{\chi_{LT,mod} * \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \\
& * \frac{|M_{z,Ed}| + |\Delta M_{z,Ed}|}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \\
& = \frac{605,87}{1 * \frac{1835,35}{1}} + 0,58 * \frac{7,15 + 0}{1 * \frac{150,87}{1}} + 0,41 \\
& * \frac{8,58 + 0}{\frac{71,44}{1}} = 0,41 < 1
\end{aligned} \tag{187}$$

$$\begin{aligned}
\text{P. 2} \quad & \frac{|N_{Ed}|}{\chi_z * \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} * \frac{|M_{y,Ed}| + |\Delta M_{y,Ed}|}{\chi_{LT,mod} * \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} * \frac{|M_{z,Ed}| + |\Delta M_{z,Ed}|}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \\
& = \frac{605,87}{0,85 * \frac{1835,35}{1}} + 0,35 * \frac{7,15 + 0}{1 * \frac{150,87}{1}} + 0,69 \\
& * \frac{8,58 + 0}{\frac{71,44}{1}} = 0,49 < 1
\end{aligned} \tag{188}$$

Horní pás mostovky HEB200 vyhoví na navrhované zatížení, jejich využití je 49%.

8.3. Posudek vybraných prutů - MSP

Mezní stav použitelnosti mostovky:

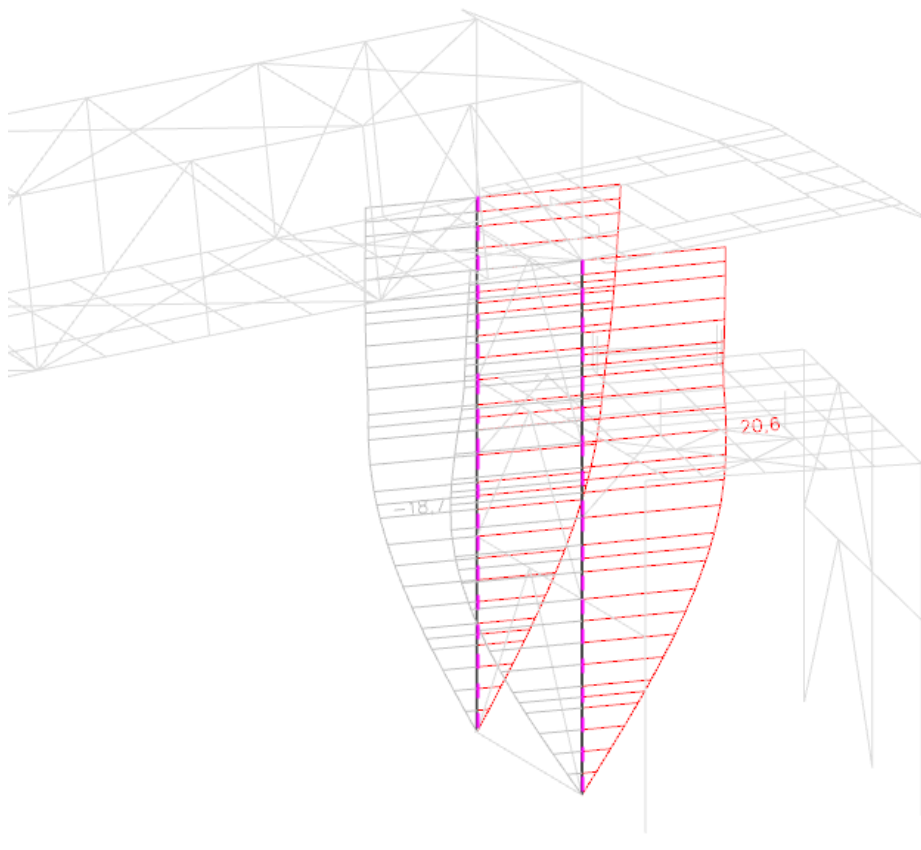


Obrázek 73: Relativní deformace mostovky, SCIA Engineer

$$u_{z,lim} \quad u_{z,lim} = L/250 = 25790/250 = 103 \text{ mm} \quad (189)$$

Deformace mostovky ve směru z mají velikost 20,9 mm a jsou menší než limitní hodnota 103 mm, mostovka na mezní stav použitelnosti vyhoví.

Mezní stav použitelnosti – pravá podpěra:



Obrázek 74: Relativní deformace pravé podpěry, SCIA Engineer

$$u_{y,lim} \quad u_{y,lim} = L/300 = 7100/300 = 24 \text{ mm} \quad (190)$$

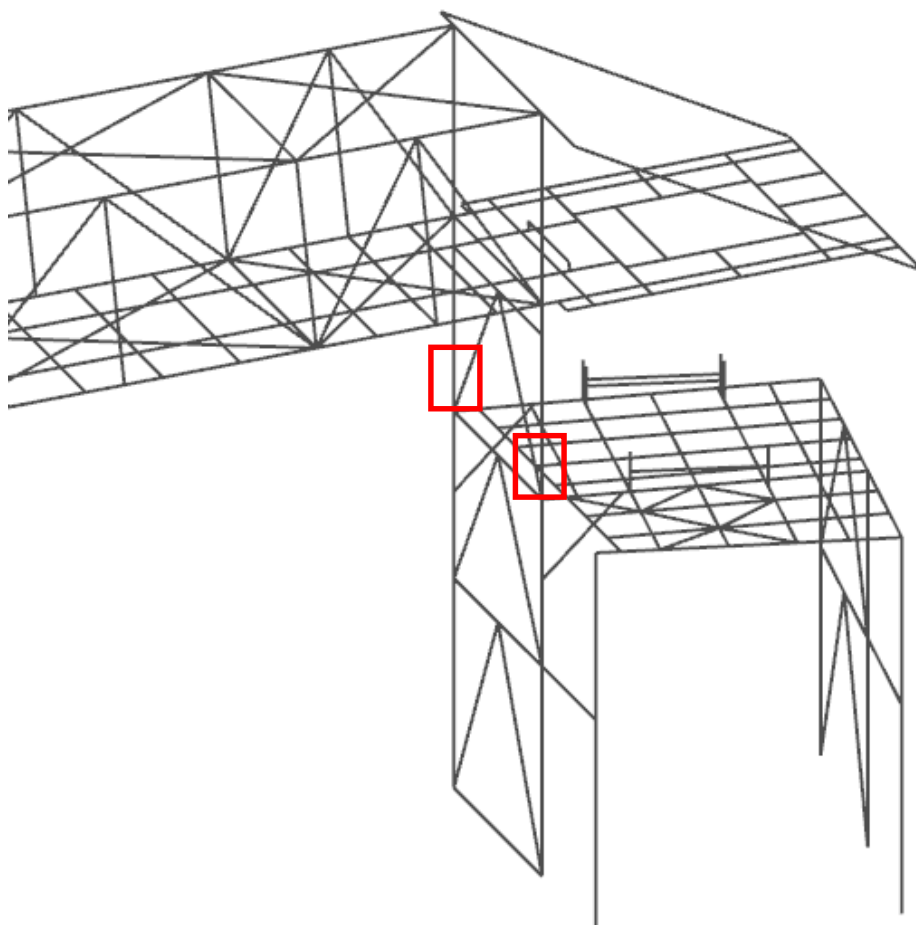
Deformace pravé podpěry v globálním směru x mají velikost 20,6 mm a jsou menší než limitní hodnota 24 mm, pravá podpěra na mezní stav použitelnosti vyhoví.

Pro dilataci mostu je tedy nutné provést v místě styku mostovky a podpěry možnost dilatace. Toto lze vyřešit oválnými děrami, případně mostními posuvnými ložisky. Pro tento případ bude toto řešeno oválnými děrami v místě styku.

8.4. Posudek vybraných styčníků

Posudky styčníků jsou posuzovány podle normy [6] .

I. Přípoj levá podpěra – plošina:



Obrázek 75: Přípoj podpěra – plošina, označeno červeně, SCIA Engineer

Základní informace a geometrie přípoje:

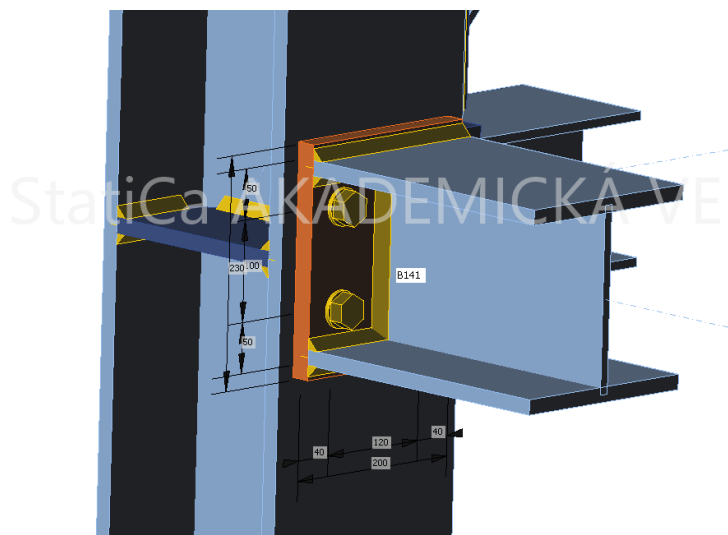
Plech: P20, 200/230, S235JR

Šrouby: M24, 8.8

Svary: 8, S235JR

Sloup podpěry: HEB240, $h=b=240$ mm, $t_f=17$ mm, $t_w=10$ mm, S235JR

Nosník plošiny: HEB200, $h=b=200$ mm, $t_f=15$ mm, $t_w=9$ mm, S235JR



Obrázek 76: Rozměry přípoje, IDEA StatiCa

1D vnitřní síly

Lineární výpočet
Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)
Souřadný systém: Hlavní
Extrém: 1D: Globální
Výběr: B141

Jméno	dx [m]	Stav	N [kN]	V _y [kN]	V _z [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
B141	0,000	MSÚ-Sada B (auto)/1	-57,77	-11,78	-18,39	-0,26	39,86	2,76
B141	0,000	MSÚ-Sada B (auto)/2	89,85	11,45	34,96	0,88	-45,57	-3,08
B141	0,000	MSÚ-Sada B (auto)/3	-36,37	-12,55	9,56	-0,31	5,37	0,52
B141	0,000	MSÚ-Sada B (auto)/4	71,10	13,03	5,92	0,83	-14,88	-1,19
B141	0,300	MSÚ-Sada B (auto)/5	-16,79	-10,24	-46,08	-0,26	20,59	0,25
B141	1,000+	MSÚ-Sada B (auto)/2	31,18	-3,58	65,56	-0,21	-17,49	-0,80
B141	0,000	MSÚ-Sada B (auto)/6	-36,21	-12,37	8,42	-0,33	4,89	0,50
B141	0,000	MSÚ-Sada B (auto)/7	88,62	11,37	35,78	0,88	-45,18	-3,06
B141	0,000	MSÚ-Sada B (auto)/8	89,54	11,52	35,24	0,88	-45,76	-3,09
B141	2,758+	MSÚ-Sada B (auto)/9	-9,41	-9,30	-34,24	0,00	46,77	10,79
B141	2,758+	MSÚ-Sada B (auto)/10	10,35	10,77	2,36	0,00	-3,42	-12,25
B141	2,758+	MSÚ-Sada B (auto)/11	-10,43	-10,81	-23,04	0,00	32,43	12,31

Jméno	klíč kombinace
MSÚ-Sada B (auto)/1	ZS1 + ZS2 + ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 0.75*ZS7-5 + 0.90*ZS6-1 + 1.50*ZS9-2
MSÚ-Sada B (auto)/2	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-3 + 1.50*ZS4-4 + 1.15*ZS3-2 + 0.90*ZS6-2 + 1.50*ZS4-5 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-3 + 0.75*ZS7-4 + 1.50*ZS8-1
MSÚ-Sada B (auto)/3	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + 1.50*ZS4-4 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 0.75*ZS7-3 + 0.75*ZS7-5 + 1.50*ZS10-2 + 0.90*ZS6-1
MSÚ-Sada B (auto)/4	ZS1 + ZS2 + ZS3-1 + 1.50*ZS4-3 + ZS3-2 + 1.50*ZS11-1 + 0.90*ZS6-2 + 1.50*ZS4-5 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-4
MSÚ-Sada B (auto)/5	ZS1 + ZS2 + ZS3-1 + 1.50*ZS4-3 + 1.50*ZS4-4 + ZS3-2 + 0.90*ZS6-2 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-3 + 1.50*ZS9-2
MSÚ-Sada B (auto)/6	ZS1 + ZS2 + ZS3-1 + 1.50*ZS4-2 + 1.50*ZS4-3 + ZS3-2 + 0.75*ZS7-2 + 1.50*ZS10-2 + 0.90*ZS6-1
MSÚ-Sada B (auto)/7	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-4 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 0.90*ZS6-2 + 1.50*ZS4-5 + 0.75*ZS7-3 + 0.75*ZS7-4 + 0.75*ZS7-5 + 1.50*ZS8-1
MSÚ-Sada B (auto)/8	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-3 + 1.15*ZS3-2 + 0.90*ZS6-2 + 1.50*ZS4-5 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-4 + 1.50*ZS8-1
MSÚ-Sada B (auto)/9	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 1.50*ZS9-1 + 1.50*ZS4-5 + 0.75*ZS7-4 + 0.75*ZS7-5 + 0.90*ZS6-1
MSÚ-Sada B (auto)/10	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 1.50*ZS8-2 + 0.75*ZS7-5 + 0.90*ZS6-1
MSÚ-Sada B (auto)/11	ZS1 + ZS2 + ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS4-3 + 1.50*ZS4-4 + ZS3-2 + 1.50*ZS9-1 + 0.90*ZS6-2 + 1.50*ZS4-5 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-3 + 0.75*ZS7-4

Obrázek 77: Vnitřní síly na připojovaném prutu, červeně označena rozhodující kombinace, SCIA Engineer

Návrhové parametry šroubu M24 8.8:

$$A_s = 353 \text{ mm}^2$$

$$f_{ub} = 800 \text{ MPa}$$

$$f_{yb} = 640 \text{ MPa}$$

$$k_2 = 0,9$$

$$\alpha_v = 0,6$$

$$d_0 = 26 \text{ mm}$$

$$d_m = 38,8 \text{ mm}$$

Vzdálenosti šroubů:

Plech:

$$e_{1,y} = 65 \text{ mm}$$

$$p_{1,y} = 100 \text{ mm}$$

$$e_{2,y} = 40 \text{ mm}$$

$$p_{2,y} = 120 \text{ mm}$$

Pásnice:

Pásnice je průběžná, $e_{1,z}$ a $p_{1,z}$ jsou tedy velké hodnoty.

$$e_{2,z} = 60 \text{ mm}$$

$$p_{2,z} = 120 \text{ mm}$$

Pro směr zatížení z je přehozen dolní index 1 za dolní index 2 a obráceně.

Šrouby:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 * 800 * 353}{1,25} = 203328 \text{ N} \quad (191)$$

$$V_{liv} M_y \quad F_{t,Ed,M_y} = \frac{M_y}{2 \cdot \frac{0,065}{0,165} \cdot 0,065 + 2 \cdot 0,165} = \frac{45,76}{2 \cdot \frac{0,065}{0,165} \cdot 0,065 + 2 \cdot 0,165} = 120,04 \text{ kN} \quad (192)$$

$$V_{liv} M_z \quad F_{t,Ed,M_z} = \frac{M_z}{2 \cdot \frac{0,040}{0,160} \cdot 0,040 + 2 \cdot 0,160} = \frac{3,09}{2 \cdot \frac{0,040}{0,160} \cdot 0,040 + 2 \cdot 0,160} = 9,09 \text{ kN} \quad (193)$$

$$F_{t,Ed} \quad F_{t,Ed} = F_{t,Ed,M_y} + F_{t,Ed,M_z} + \frac{N_{Ed}}{4} = 120,04 + 9,09 + \frac{89,54}{4} = 151,52 \text{ kN} \quad (194)$$

$$Posudek \quad \frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} = \frac{151,52}{203,33} = 0,75 \quad (195)$$

$$F_{v,Rd} \quad F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 353}{1,25} = 135552 \text{ N} \quad (196)$$

$$Posudek \quad \frac{F_{v,Ed,y}}{F_{v,Rd}} = \frac{11,52/4}{135,55} = 0,02 \quad (197)$$

$$\frac{F_{v,Ed,z}}{F_{v,Rd}} = \frac{35,24/4}{135,55} = 0,06 \quad (198)$$

$$\alpha_{d,pl,y} \quad \alpha_{d,pl,y} = \min\left(\frac{e_{1,y}}{3 \cdot d_0}, \frac{p_{1,y}}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}\right) = \min\left(\frac{65}{3 \cdot 26}, \frac{100}{3 \cdot 26} - \frac{1}{4}\right) = \min(0,83; 1,03) = 0,83 \quad (199)$$

$$\alpha_{b,pl,y} \quad \alpha_{d,pl,y} = \min\left(\alpha_{d,pl,y}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min\left(0,83; \frac{800}{360} = 2,22; 1\right) = 0,83 \quad (200)$$

$$k_{1,pl,y} \quad k_{1,pl,y} = \min\left(2,8 \cdot \frac{e_{2,y}}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_{2,y}}{d_0} - 1,7; 2,5\right) \\ = \min\left(2,8 \cdot \frac{40}{26} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{120}{26} - 1,7; 2,5\right) \\ = \min(2,61; 3,68; 2,5) = 2,5 \quad (201)$$

$$F_{b,Rd,pl,y} \quad F_{b,Rd,pl,y} = \frac{k_{1,pl,y} \cdot \alpha_{b,pl,y} \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,83 \cdot 360 \cdot 24 \cdot 20}{1,25} = 286848 \text{ N} \quad (202)$$

$$\alpha_{d,pa,y} \quad \alpha_{d,pa,y} = \min\left(\frac{e_{1,y}}{3 \cdot d_0}, \frac{p_{1,y}}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}\right) = \text{více než } 1,0 \quad (203)$$

$$\alpha_{b,pa,y} \quad \alpha_{d,pa,y} = \min\left(\alpha_{d,pa,y}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min\left(1,0; \frac{800}{360} = 2,22; 1,0\right) = 1,0 \quad (204)$$

$$k_{1,pa,y} \quad k_{1,pl,y} = \min\left(2,8 \cdot \frac{e_{2,y}}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_{2,y}}{d_0} - 1,7; 2,5\right) \\ = \min\left(2,8 \cdot \frac{60}{26} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{120}{26} - 1,7; 2,5\right) \\ = \min(4,76; 3,68; 2,5) = 2,5 \quad (205)$$

$$F_{b,Rd,pa,y} \quad F_{b,Rd,pa,y} = \frac{k_{1,pa,y} * \alpha_{b,pl,y} * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 1,0 * 360 * 24 * 17}{1,25} = 293760 \text{ N} \quad (206)$$

$$F_{b,Rd,y} \quad F_{b,Rd,y} = \min(F_{b,Rd,pl,y}; F_{b,Rd,pa,y}) = \min(286,85; 293,76) \\ = 286,85 \text{ kN} \quad (207)$$

$$\text{Posudek} \quad \frac{F_{b,Ed,y}}{F_{b,Rd,y}} = \frac{11,52/4}{286,85} = 0,01 \quad (208)$$

$$\alpha_{d,pl,z} \quad \alpha_{d,pl,z} = \min\left(\frac{e_{1,z}}{3*d_0}; \frac{p_{1,z}}{3*d_0} - \frac{1}{4}\right) = \min\left(\frac{40}{3*26}; \frac{120}{3*26} - \frac{1}{4}\right) \\ = \min(0,51; 1,23) = 0,53 \quad (209)$$

$$\alpha_{b,pl,z} \quad \alpha_{d,pl,z} = \min\left(\alpha_{d,pl,z}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min\left(0,51; \frac{800}{360} = 2,22; 1\right) = 0,51 \quad (210)$$

$$k_{1,pl,z} \quad k_{1,pl,z} = \min\left(2,8 * \frac{e_{2,z}}{d_0} - 1,7; 1,4 * \frac{p_{2,z}}{d_0} - 1,7; 2,5\right) \\ = \min\left(2,8 * \frac{65}{26} - 1,7; 1,4 * \frac{100}{26} - 1,7; 2,5\right) \\ = \min(5,3; 4,83; 2,5) = 2,5 \quad (211)$$

$$F_{b,Rd,pl,z} \quad F_{b,Rd,pl,z} = \frac{k_{1,pl,z} * \alpha_{b,pl,y} * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 0,51 * 360 * 24 * 20}{1,25} = 176256 \text{ N} \quad (212)$$

$$\alpha_{d,pa,z} \quad \alpha_{d,pa,z} = \min\left(\frac{e_{1,z}}{3*d_0}; \frac{p_{1,z}}{3*d_0} - \frac{1}{4}\right) = \min\left(\frac{60}{3*26}; \frac{120}{3*26} - \frac{1}{4}\right) \\ = \min(0,77; 1,29) = 0,77 \quad (213)$$

$$\alpha_{b,pa,z} \quad \alpha_{d,pa,y} = \min\left(\alpha_{d,pa,y}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min\left(1,0; \frac{800}{360} = 2,22; 1,0\right) = 1,0 \quad (214)$$

$$k_{1,pa,z} \quad k_{1,pl,z} = \min\left(2,8 * \frac{e_{2,z}}{d_0} - 1,7; 1,4 * \frac{p_{2,z}}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = 2,5 \quad (215)$$

$$F_{b,Rd,pa,z} \quad F_{b,Rd,pa,z} = \frac{k_{1,pa,z} * \alpha_{b,pl,z} * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 1,0 * 360 * 24 * 17}{1,25} = 293760 \text{ N} \quad (216)$$

$$F_{b,Rd,z} \quad F_{b,Rd,z} = \min(F_{b,Rd,pl,z}; F_{b,Rd,pa,z}) = \min(176,26; 293,76) \\ = 176,26 \text{ kN} \quad (217)$$

$$\text{Posudek} \quad \frac{F_{b,Ed,z}}{F_{b,Rd,z}} = \frac{35,24/4}{176,26} = 0,05 \quad (218)$$

$$\text{Komb.} \quad \frac{F_{b,Ed,z}}{F_{b,Rd,z}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 * F_{t,Rd}} = \frac{35,24/4}{176,26} + \frac{151,52}{1,4 * 203,33} = 0,58 \quad (219)$$

$$B_{p,Rd,pl} \quad B_{p,Rd,pl} = \frac{0,6*\pi*d_m*t_{pl}*f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6*\pi*38,8*20*360}{1,25} = 421265 \text{ N} \quad (220)$$

$$B_{p,Rd,pa} \quad B_{p,Rd,pa} = \frac{0,6*\pi*d_m*t_{pa}*f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6*\pi*32,3*17*360}{1,25} = 358075 \text{ N} \quad (221)$$

$$B_{p,Rd} \quad B_{p,Rd} = \min(B_{p,Rd,pl}; B_{p,Rd,pa}) = \min(421,27; 358,08) \\ = 358,08 \text{ kN} \quad (222)$$

$$\text{Posudek} \quad \frac{F_{t,Ed}}{B_{p,Rd}} = \frac{151,52}{358,08} = 0,42 \quad (223)$$

Vliv páčení není zohledněn, sloup HEB240 bude opatřen výztuhou proti páčení.

Šrouby v přípoji vyhovují s maximálním využitím 75% v tahu.

Svary:

Posouvající síly:

Posouvající síly ve směru y přenáší zjednodušeně pouze svary stojiny, ve směru z pak pouze svary pásnic.

$$V_y \quad \tau_{\parallel,s} = \frac{V_y}{A_w} = \frac{11,52*10^3}{2*8*(200-2*15)} = 4,24 \text{ MPa} \quad (224)$$

$$V_z \quad \tau_{\parallel,p} = \frac{V_z}{A_w} = \frac{35,24*10^3}{2*8*200+2*8*(200-9)} = 5,63 \text{ MPa} \quad (225)$$

Momenty:

$$I_{w,y} \quad I_{w,y} = 2*\left(\frac{1}{12}*200*8^3+200*8*104^2\right)+4*\left(\frac{1}{12}*95,5*8^3+95,5*8*81^2\right)+2*\frac{1}{12}*8*154^3 \\ = 59564667 \text{ mm}^4 \quad (226)$$

$$\sigma_{M,y,s} \quad \sigma_{M,y,s} = \frac{M_y}{I_{w,y}} * Z_{y,s} = \frac{45,76*10^6}{59564667} * 85 = 65,30 \text{ MPa} \quad (227)$$

$$\sigma_{M,y,p} \quad \sigma_{M,y,p} = \frac{M_y}{I_{w,y}} * Z_{y,p} = \frac{45,76*10^6}{59564667} * 100 = 76,82 \text{ MPa} \quad (228)$$

$$\text{Rozklad} \quad \sigma_{\perp,y,s} = \tau_{\perp,y,s} = \frac{\sigma_{M,y,s}}{\sqrt{2}} = \frac{65,30}{\sqrt{2}} = 46,17 \text{ MPa} \quad (229)$$

$$\sigma_{\perp,y,p} = \tau_{\perp,y,p} = \frac{\sigma_{M,y,p}}{\sqrt{2}} = \frac{76,82}{\sqrt{2}} = 54,32 \text{ MPa} \quad (230)$$

$$\begin{aligned} I_{w,z} & I_{w,z} \\ &= 2 * \left(\frac{1}{12} * 154 * 8^3 + 154 * 8 * 8,5^2 \right) + 4 * \left(\frac{1}{12} * 8 * 95,5^3 + 8 * 95,5 * 52,25^2 \right) + 2 * \frac{1}{12} * 8 * 200^3 \\ &= 21523527 \text{ mm}^4 \end{aligned} \quad (231)$$

$$\sigma_{M,z,s} \quad \sigma_{M,z,s} = \frac{M_z}{I_{w,z}} * Z_{z,s} = \frac{3,09 * 10^6}{21523527} * 4,5 = 0,6 \text{ MPa} \quad (232)$$

$$\sigma_{M,z,p} \quad \sigma_{M,z,p} = \frac{M_z}{I_{w,z}} * Z_{z,s} = \frac{3,09 * 10^6}{21523527} * 100 = 14,36 \text{ MPa} \quad (233)$$

$$\text{Rozklad} \quad \sigma_{\perp,z,p} = \tau_{\perp,z,p} = \frac{\sigma_{M,z,p}}{\sqrt{2}} = \frac{0,6}{\sqrt{2}} = 0,42 \text{ MPa} \quad (234)$$

$$\sigma_{\perp,z,p} = \tau_{\perp,z,p} = \frac{\sigma_{M,z,p}}{\sqrt{2}} = \frac{14,36}{\sqrt{2}} = 10,15 \text{ MPa} \quad (235)$$

$$\text{Posudky} \quad \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} \quad (236)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \quad (237)$$

$$\text{Stojina} \quad \sqrt{46,17^2 + 3 * (46,17^2 + 4,24^2)} = 92,63 \leq \frac{360}{0,8 * 1,25} = 360 \text{ MPa} \quad (238)$$

$$46,17 \leq \frac{360}{1,25} = 288 \text{ MPa} \quad (239)$$

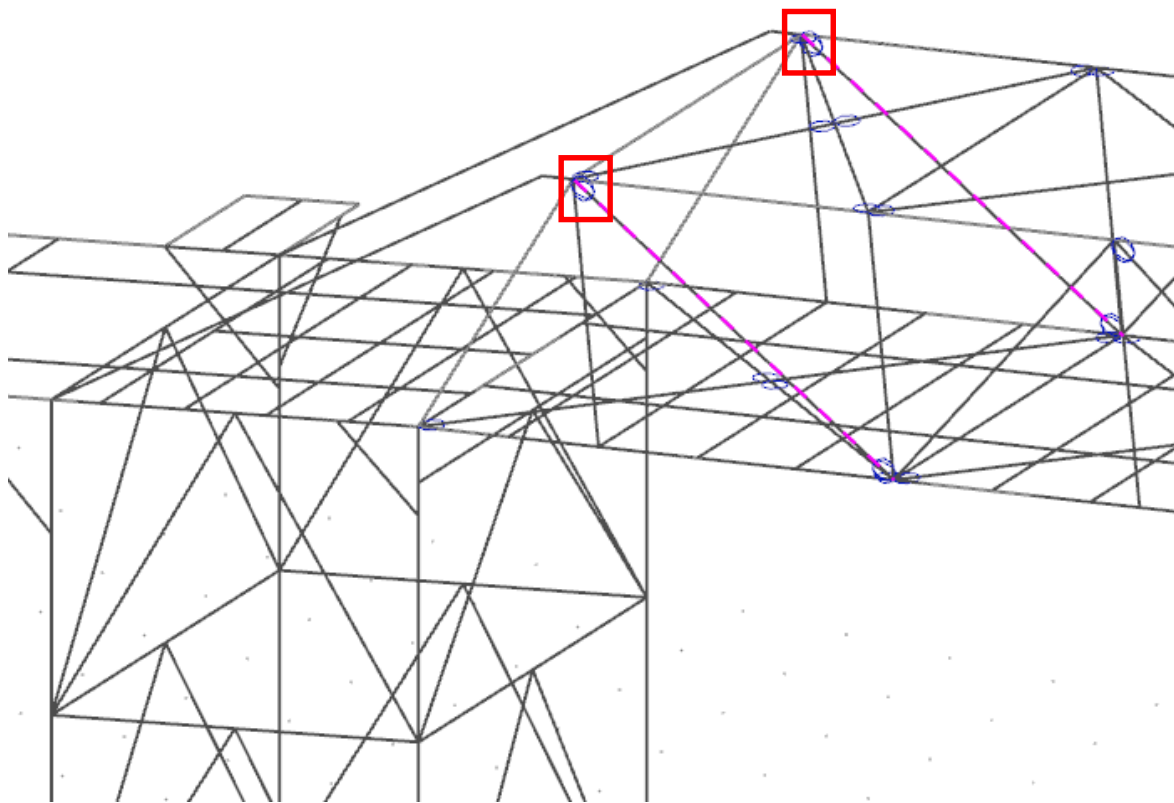
$$\text{Pásnice} \quad \sqrt{54,32^2 + 3 * (54,32^2 + 5,63^2)} = 109,1 \leq \frac{360}{0,8 * 1,25} = 360 \text{ MPa} \quad (240)$$

$$54,32 \leq 0,9 \frac{360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa} \quad (241)$$

Svary stojiny i pásnice vyhoví na dané namáhání, více namáhané jsou pásnice, které mají oba posudky vyhovující.

Celkově přípoj vyhoví.

II. Přípoj táhla do rámového rohu:



Obrázek 78: Přípoj táhla do rámového rohu, označeno červeně, SCIA Engineer

Základní informace a geometrie přípoje:

Plech: P20, 558/374, S355JR

Šrouby: M27, 8.8

Svary: 10, S235JR

Táhlo: L120x12, h=b=120 mm, t=12 mm, S235JR

Horní pás: HEA200, h=190 mm, b=200 mm, $t_f=10$ mm, $t_w=7$ mm, S235JR



1D vnitřní síly

Lineární výpočet
Kombinace: MSU-Sada B (auto)
Souřadný systém: Hlavní
Extrém 1D: Globální
Výběr: B344, B348

Jméno	dx [m]	Stav	H [kN]	V _y [kN]	V _z [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
B344	3,716	MSU-Sada B (auto)/1	-45,81	-0,23	-0,23	0,00	0,00	0,00
B348	0,000	MSU-Sada B (auto)/2	336,83	0,27	0,27	0,00	0,00	0,00
B344	3,716	MSU-Sada B (auto)/3	128,55	-0,31	-0,31	0,00	0,00	0,00
B344	0,000	MSU-Sada B (auto)/3	129,14	0,31	0,31	0,00	0,00	0,00
B348	0,000	MSU-Sada B (auto)/4	316,44	0,27	0,27	0,00	0,00	0,00
B344	0,000	MSU-Sada B (auto)/5	175,13	0,27	0,27	0,00	0,00	0,00
B344	1,858+	MSU-Sada B (auto)/3	128,85	0,00	0,00	0,00	0,29	0,29

Jméno	Klíč kombinace
MSU-Sada B (auto)/1	ZS1 + ZS2 + ZS3-1 + 1.50*ZS4-4 + ZS3-2 + 0.90*ZS6-2 + 0.75*ZS7-3 + 0.75*ZS7-5 + 1.50*ZS10-2
MSU-Sada B (auto)/2	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + 1.50*ZS4-3 + 1.15*ZS3-2 + 0.75*ZS7-1 + 1.50*ZS10-1 + 0.75*ZS7-2 + 0.90*ZS6-1
MSU-Sada B (auto)/3	1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 1.35*ZS3-1 + 1.35*ZS3-2
MSU-Sada B (auto)/4	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + 1.50*ZS4-3 + 1.50*ZS4-4 + 1.15*ZS3-2 + 1.50*ZS11-1 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-3 + 0.75*ZS7-5 + 0.90*ZS6-1
MSU-Sada B (auto)/5	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.15*ZS3-1 + 1.50*ZS4-1 + 1.50*ZS5 + 1.50*ZS4-2 + 1.50*ZS4-3 + 1.50*ZS4-4 + 1.15*ZS3-2 + 1.50*ZS9-1 + 0.75*ZS7-2 + 0.75*ZS7-3 + 0.75*ZS7-5 + 0.90*ZS6-1

Obrázek 81: Vnitřní síly na připojovaném prutu, červeně označena rozhodující kombinace, SCIA Engineer

Návrhové parametry šroubu M27 8.8:

$$A_s = 459 \text{ mm}^2$$

$$f_{ub} = 800 \text{ MPa}$$

$$f_{yb} = 640 \text{ MPa}$$

$$\beta_3 = 0,57$$

$$\alpha_v = 0,6$$

$$d_0 = 30 \text{ mm}$$

$$d_m = 43 \text{ mm}$$

Vzdálenosti šroubů:

Plech:

$$e_1 = 75 \text{ mm}$$

$$p_1 = 90 \text{ mm}$$

$$e_2 = 77 \text{ mm}$$

Táhlo:

$$e_1=75 \text{ mm}$$

$$p_1=90 \text{ mm}$$

$$e_2=60 \text{ mm}$$

Šrouby:

$$\alpha_{d,pl} \quad \alpha_{d,pl,y} = \min\left(\frac{e_1}{3*d_0}; \frac{p_1}{3*d_0} - \frac{1}{4}\right) = \min\left(\frac{75}{3*30}; \frac{90}{3*30} - \frac{1}{4}\right) = \min(0,83; 0,58) = 0,58 \quad (242)$$

$$\alpha_{b,pl} \quad \alpha_{d,pl,y} = \min\left(\alpha_{d,pl}; \frac{f_{ub,1}}{f_u}\right) = \min\left(0,58; \frac{800}{360} = 2,22; 1\right) = 0,58 \quad (243)$$

$$\begin{aligned} k_{1,pl} \quad k_{1,pl,y} &= \min\left(2,8 * \frac{e_{2,y}}{d_0} - 1,7; 2,5\right) \\ &= \min\left(2,8 * \frac{77}{30} - 1,7; 2,5\right) = \min(5,49; 2,5) \\ &= 2,5 \end{aligned} \quad (244)$$

$$F_{b,Rd,pl} \quad F_{b,Rd,pl,y} = \frac{k_{1,pl,y} * \alpha_{b,pl,y} * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 0,58 * 360 * 27 * 20}{1,25} = 225504 \text{ N} \quad (245)$$

$$\alpha_{d,ta} \quad \alpha_{d,ta} = \min\left(\frac{e_1}{3*d_0}; \frac{p_1}{3*d_0} - \frac{1}{4}\right) = \min\left(\frac{75}{3*30}; \frac{90}{3*30} - \frac{1}{4}\right) = \min(0,83; 0,58) = 0,58 \quad (246)$$

$$\alpha_{b,ta} \quad \alpha_{d,ta,y} = \min\left(\alpha_{d,ta}; \frac{f_{ub,1}}{f_u}\right) = \min\left(0,58; \frac{800}{360} = 2,22; 1,0\right) = 0,58 \quad (247)$$

$$\begin{aligned} k_{1,ta} \quad k_{1,ta} &= \min\left(2,8 * \frac{e_{2,y}}{d_0} - 1,7; 2,5\right) \\ &= \min\left(2,8 * \frac{60}{30} - 1,7; 2,5\right) = \min(3,9; 2,5) \\ &= 2,5 \end{aligned} \quad (248)$$

$$F_{b,Rd,ta} \quad F_{b,Rd,pa,y} = \frac{k_{1,pa,y} * \alpha_{b,pl,y} * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 0,58 * 360 * 30 * 12}{1,25} = 135302 \text{ N} \quad (249)$$

$$\begin{aligned} F_{b,Rd} \quad F_{b,Rd,y} &= \min(F_{b,Rd,pl}; F_{b,Rd,ta}) = \min(225,50; 135,30) \\ &= 135,30 \text{ kN} \end{aligned} \quad (250)$$

$$\text{Posudek} \quad \frac{N}{F_{b,Rd}} = \frac{336,83/3}{135,30} = 0,83 \quad (251)$$

$$F_{v,Rd} \quad F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * f_{ub} * A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 * 800 * 459}{1,25} = 176256 \text{ N} \quad (252)$$

$$\text{Posudek} \quad \frac{N}{F_{v,Rd}} = \frac{336,83/3}{176,26} = 0,64 \quad (253)$$

$$N_{u,Rd} \quad N_{u,Rd} = \frac{\beta_3 * A_{net} * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,57 * (2754 - 30 * 12) * 360}{1,25} = 392999 \text{ N} \quad (254)$$

$$\text{Posudek} \quad \frac{N}{F_{v,Rd}} = \frac{336,83}{393,00} = 0,85 \quad (255)$$

Vliv páčení není zohledněn, horní pás HEA200 bude opatřen výztuhou proti páčení

Šrouby v přípoji vyhovují s maximálním využitím 88% v tahu.

Svary:

Do svaru působí pouze normálová síla, úhel mezi horním pásem a profilem táhla je 39°.

$$N \quad \tau_{\parallel,s} = \frac{N * \cos 39^\circ}{A_w} = \frac{336,83 * 10^3 * \cos 39^\circ}{2 * 10 * 511} = 25,61 \text{ MPa} \quad (256)$$

$$\sigma_M \quad \sigma_M = \frac{N * \sin 39^\circ}{A_w} = \frac{336,83 * 10^3 * \sin 39^\circ}{2 * 10 * 511} = 20,74 \text{ MPa} \quad (257)$$

$$\text{Rozklad} \quad \sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{21,45}{\sqrt{2}} = 14,67 \text{ MPa} \quad (258)$$

$$\text{Posudky} \quad \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} \quad (259)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \quad (260)$$

$$\sqrt{14,67^2 + 3 * (14,67^2 + 25,61^2)} = 53,18 \leq \frac{360}{0,8 * 1,25} \quad (261)$$

$$= 360 \text{ MPa}$$

$$14,67 \leq 0,9 * \frac{360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa} \quad (262)$$

Tento výpočet však nepostihuje tuhost plechu a rozložení sil na tomto plechu. Byl proveden výpočet v softwaru IDEA StatiCa, který dokáže zohlednit dříve zmíněné a

koncentraci napětí. Pro svar vyšli hodnoty napětí $\tau_{\parallel}=149,8$ MPa, $\tau_{\perp}=-119,4$ MPa a $\sigma_{\perp}=123,6$ MPa.

$$\sqrt{123,6^2 + 3 * (-119,4^2 + 149,8^2)} = 354,07 \leq \frac{360}{0,8*1,25} \quad (263)$$

$$= 360 \text{ MPa}$$

$$123,6 \leq 0,9 * \frac{360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa} \quad (264)$$

Svary vyhoví na dané namáhání.

Celkově přípoj vyhoví.

9. Výkaz použitého materiálu

Pro výkaz použitých materiálů je použit software SCIA Engineer. Tento software využívá osové vzdálenosti, čímž je zajištěno nadvýšení samotné délky prutů pro případný prořez.

Výkaz materiálu			
Výběr: Vše			
Způsob třídění: Průřez			
Shrnutí			
Materiál	Hmotnost [kg]	Plocha [m ²]	Objem [m ³]
Ocel	30129,9	765,022	3,8382e+00
Celkem	30129,9	765,022	3,8382e+00

Poznámka: Hodnota 'Plocha' představuje pro 1D dílce celkový vnější povrch, zatímco pro 2D dílce odpovídá ploše střednicové roviny.

Ocel (1D)

Průřez	Materiál	Délka [m]	Jednotková hmotnost [kg/m]	Hmotnost [kg]	Plocha [m ²]	Objem [m ³]
CS1 - HEA140	S 235	135,575	24,6	3341,8	107,647	4,2571e-01
CS2 - HEA160	S 235	180,530	30,5	5498,6	163,560	7,0046e-01
CS3 - HEA200	S 235	69,628	42,2	2940,6	79,376	3,7460e-01
CS4 - HEB200	S 235	112,426	61,3	6890,9	129,290	8,7782e-01
CS5 - HEB220	S 235	44,422	71,5	3174,7	56,416	4,0442e-01
CS6 - HEB240	S 235	19,840	83,2	1650,9	27,379	2,1030e-01
CS7 - IPE140	S 235	207,981	12,9	2677,5	114,499	3,4109e-01
CS8 - L100X12	S 235	103,944	17,8	1852,2	40,538	2,3595e-01
CS9 - L120X12	S 235	94,764	21,6	2045,7	44,444	2,6060e-01
CS10 - L60X8	S 235	8,036	7,1	57,0	1,872	7,2567e-03
Celkem		977,146		30129,9	765,022	3,8382e+00

Obrázek 82: Výkaz materiálu

10. Porovnání přístupu americké a evropské normy k zatížení a kombinaci zatížení

10.1. Sníh

ASCE:

Americká norma uvažuje sníh na zemi s padesátiletou dobou návratu (tedy 2% pravděpodobnost). Velikost zatížení na zemi (p_g) probíhá pomocí odečtení hodnoty ze sněhové mapy, pro některé oblasti pak podle zvláštního výpočtu nebo po konzultaci s místní meteorologickou stanicí. Toto zatížení se poté počítá na ploché střechy do pěti stupňů sklonu střechy, nazývá ho p_f a je to součin jedné konstanty (0,7), tří součinitelů (faktorů) a samotného zatížení sněhem na zemi. Prvním součinitelem je faktor expozice C_e , který nabývá hodnot 0,7 až 1,2 a závisí na okolní krajině a expozici samotného místa. Proti Eurokodu je tento součinitel více propracovaný, čímž se zároveň stává o něco složitějším. Druhým součinitelem je faktor teploty, který závisí na konstrukci a jejím tepelném prostupu případně promrzání. Nabývá hodnot 0,85 až 1,3, může tedy dojít k situaci, kdy faktor teploty navýší zatížení sněhem až o třicet procent. Třetím a posledním součinitelem je faktor důležitosti. Tento součinitel nabývá pouze čtyřech hodnot (0,8; 1,0; 1,1; 1,2) podle kategorie stavby (I až IV). Pokud je střecha do pěti stupňů, tak je zatížení vypočteno, pokud však střecha je sklonitá, nastává další krok výpočtu pro vypočtení zatížení na sklonité střeše p_s . Zatížení na ploché střeše je vynásobeno součinitelem c_s , který nabývá hodnot 0 až 1,0. Tento součinitel závisí na dvou parametrech a to na sklonu střechy a teplotním součiniteli. Při sklonu větším než 70° nabývá hodnoty pouze 0. Zatěžování samotné probíhá jako plné na celou střechu a pak různé prostřídání, které je blíže popsáno v samotné normě [9]. Dále je v normě řešeno zatížení návěji, návějí sněhu v závislosti na odstupu budov, vystupující konstrukce a atiky, návějí na závětrnou stranu střechy, tání a opětovné zmrznutí sněhu, sníh na otevřených podlažích (např. balkony a lodžie) a námrazu na trubkách a lanech.

Eurokod:

Evropská norma uvažuje stejně jako americká s pravděpodobností 0,02 (tedy 2% nebo návrat 50 let). Zatížení může být odečteno ze sněhové mapy v osmi oblastech, nebo určena pomocí serveru snehovamapa.cz, kde je možno poklepem do mapy získat hodnotu zatížení sněhem na zemi s_k . Výpočet probíhá přímo na zatížení střechy s , který sestává ze tří součinitelů a samotného zatížení s_k . První ze součinitelů je μ_i , který může nastat do tří situací.

μ_1 je pro ploché a sklonité střechy, nabývá hodnot do 30° sklonu 0,8, poté lineárně k 0 do sklonu 60° , nad 60° sklonu střechy již je pouze 0. μ_2 je součinitel pro návěje, místní účinky (zaatikový sníh), vícelodní haly a podobně. μ_3 je součinitel pro válcové střechy. Druhým součinitelem je pak součinitel expozice C_e , který je určen podle typu krajiny a nabývá hodnot 0,8; 1 a 1,2. Třetím a posledním součinitelem je tepelný součinitel C_t , který pro střechy s menší tepelnou propustností než $1 \text{ W/m}^2\text{K}$ je roven 1, pokud je tepelná propustnost větší, tak se pak určí podle normy, avšak nesmí být menší než 0,8. Dále Eurokod řeší návěje a místní účinky, tání a opětovné zmrznutí sněhu a převislý sníh.

Shrnutí:

U sněhu se může vzít jak hodnota samotného sněhu na zemi a pracovat s ní podle každé z norem, zatížení na zemi je tedy vzájemně použitelné do výpočtu, možné je ale i přepočítat na konkrétní střechu a použít až velikost zatížení sněhem na střeše, které je také vzájemně použitelné do výpočtu. Obě normy obsahují výpočet pro návěje a tání a opětovné zmrznutí sněhu. Americká norma obsahuje oproti Eurokodu navíc navátí v závislosti na odstupu budovy, navátí na závětrnou stranu střechy, sníh na otevřených podlažích a na trubkách a lanech. Eurokod obsahuje navíc převislý sníh a výstupky na střeše.

10.2. Vítr

ASCE:

Vítr v americké normě je definován ve výšce 10 metrů v topografii nízké vegetace, doba návratu závisí na Risk category konstrukce, zároveň se myslí i na hurikán. Do výpočtu tlaku větru q_z vstupuje jedna konstanta, čtyři součinitele a samotná rychlost větru. První z nich je součinitel výšky nad terénem K_z . Do tohoto vstupuje koeficient nárazové rychlosti větru, výška samotné stavby a výšková atmosférická vrstva. Dalším součinitelem je topografický faktor K_{zt} . Tento faktor má svou hodnotu podle expozice, která je ve čtyřech kategoriích. Dalším je součinitel směru větru K_d a posledním pak součinitel nadmořské výšky K_e . Dalšími výpočty, které je možné podle ASCE provést je výpočet zatížení tornádem a to podle oblasti návrhu konstrukce, dále pak krytí ostatními stavbami, vnitřní tlak a změna rychlosti větru v závislosti na terénu. Z důvodu různé doby návratu je tedy vhodné provést výpočet tlaku větru pomocí ASCE a poté tuto hodnotu použít do Eurokodu jako dynamický tlak q_p . Specifikem této normy je, že řeší změnu větru na výšce i u relativně nízkých budov a jejich zatěžovací schémata jsou proti evropskému zatížení značně zjednodušena na celé plochy.

Eurokod:

Evropská norma pracuje s dobou návratu větru 50 let. Vítr samotný je specifikován 10 metrů nad terénem v kategorii terénu II (nízká vegetace). Jelikož se v Evropě nevyskytují hurikány ani tornáda, tak tato norma není vybavena návodem na jejich zohlednění. Do výpočtu vstupuje součinitel zohledňující směr větru a roční období, obecně tyto dva součinitele jsou rovny 1. Charakteristická střední rychlost větru je vypočtena roznásobením součinitele orografie, součinitele drsnosti terénu a základní rychlosti větru. Součinitel orografie je ve většině návrhových situací roven 1, pouze pokud je rychlost větru zvýšena orografií o 5%, tak se jeho hodnota mění. Součinitel drsnosti terénu je počítán roznásobením součinitele terénu, do kterého vstupují hodnoty z tabulky, a v logaritmu výška budovy podělená parametrem drsnosti terénu. Toto platí pro výšku budovy 200 metrů, nad tuto hodnotu je třeba provést detailnější analýzu konstrukce například ve větrném tunelu. Výpočet dále pokračuje výpočtem maximálního dynamického tlaku $q_p(z)$, do kterého vstupuje vliv turbulencí, měrná hmotnost vzduchu a charakteristická střední rychlost větru. Tato hodnota je následně roznásobena dle plochy hodnotou $c_{pe,1}$ případně $c_{pe,10}$. Tyto hodnoty jsou pak aplikovány podle předepsaných obrázků na konstrukci. U mostních nebo příhradových konstrukcí se vítr počítá roznásobením $q_p(z)$ a dílčích dalších součinitelů (např. plnosti). Tato norma obsahuje mnoho střech, kterou však postrádá je mansardová střecha, kterou norma ASCE disponuje.

Shrnutí:

V tomto případě lze zaměnit až hodnotu q_z z ASCE a q_p z Eurokodu. Samotný přístup k zatížení na konstrukci je obdobný, jen ASCE zavádí některá zjednodušení, například v menším počtu ploch pro střechy.

10.3. Seismicita

Seismicita je zaměnitelná již v počáteční fázi, kdy hodnota S_1 z ASCE je ekvivalentem hodnoty a_g v Eurokodu.

10.4. Kombinace zatížení

ASCE:

Americká norma v základu pro mezní stav únosnosti (strenght design) kombinuje podle pěti základních kombinačních vzorců, ke kterým se pak přidávají další. Tyto základní

kombinační vzorce jsou doplněny o další, pokud je stavba v záplavovém území, pokud se vyskytuje zatížení námrazou, pokud je v konstrukci předpětí a pokud je přítomna seismická. Další kombinace jsou možné, pokud jsou založené na základních kombinacích. Pro mezní stav použitelnosti pak platí stejné kombinace, pouze jsou násobené hodnoty zatížení násobeny maximálně hodnotou 1. Dále ASCE zavádí mimořádné kombinace, a to pro únosnost, pro zbytkovou únosnost a nakonec pro stabilitu. Dále zohledňuje kombinaci pro zatížení fiktivní boční sílu.

Eurokod:

Eurokod pro mezní stav únosnosti používá charakteristickou kombinaci, kdy každý její člen je vynásoben příslušným součinitelem γ (typicky pro stálé zatížení hodnotou 1,35, pro nahodilé zatížení 1,5). Tato kombinace v sobě zahrnuje součet stálých zatížení, předpětí, vybrané hlavní nahodilé zatížení a nakonec další nahodilé zatížení vynásobené tabulkovým součinitelem $\psi_{0,i}$. Pro mezní stav použitelnosti se využívá již popsaná charakteristická kombinace, pouze se hodnoty nenásobí součinitelem γ , dále se využívá častá a kvazistálá kombinace. Častá kombinace je obdobou charakteristické kombinace, pouze je hlavní nahodilé zatížení násobeno součinitelem $\psi_{1,1}$ a další nahodilé zatížení pak $\psi_{2,i}$. Kvazistálá kombinace je opět obdobou, pouze všechny nahodilé zatížení se násobí součinitelem $\psi_{2,i}$. Charakteristická rovnice se používá pro výpočet přetvoření které je vratné a pro výraznou poruchu konstrukce. Častá kombinace vede k vratným přetvořením a menším poruchám. Kvazistálá kombinace se využívá pro zohlednění dlouhodobých účinků zatížení. Dále norma zohledňuje kombinace pro mimořádné zatížení, které je obdobou časté kombinace s přidáním hodnoty mimořádné kombinace.

11. Závěr

Úkolem bakalářské práce bylo posoudit navrženou konstrukci dopravníkového mostu na oba mezní stavy. Konstrukce byla vymodelována v programu SCIA Engineer. Konstrukce byla zatížena vlastní vahou, užitným zatížením, technologií a přepravovaným materiálem, sněhem a větrem. Následně byla konstrukce posouzena softwarem, vybrané pruty byly posouzeny ručním výpočtem. V práci je popsána i práce se vzpěrnými délkami v programu SCIA Engineer, výpis reakcí pro další návrh základových konstrukcí a výkaz použitého materiálu. Následoval posudek styčníků, kdy vybrané styčníky byly namodelovány v programu IDEA StatiCa, byla pro ně vybrána nejhorší zatěžovací kombinace a byly posouzeny ručním výpočtem a softwarem. Všechny výpočty probíhaly podle platných norem a předpisů. Konstrukce jako celek vyhoví na navržené zatížení. Přehledná výkresová dokumentace byla zpracována pomocí softwaru Tekla Structure.

Další částí práce je porovnání přístupu americké a evropské normy na zatížení větrem, sněhem, seismicitou a kombinacemi zatížení. V tomto porovnání je zřetelné, že přístup se v některých částech liší, ale základní princip zůstává u obou norem hodně podobný.

12. Zdroje

12.1. Použitá literatura

- [1] ČSN EN 1990 ed.2 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. ÚNMZ, 2011 (včetně změn a oprav).
- [2] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. ČNI, 2004 (včetně změn a oprav).
- [3] ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Zatížení sněhem. Praha, ÚNMZ, 2013 (včetně změn a oprav).
- [4] ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem. ČNI, 2007 (včetně změn a oprav).
- [5] ČSN EN 1993-1-1 ed. 2 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha, ÚNMZ, 2011 (včetně změn a oprav).
- [6] ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků. Praha, ÚNMZ, 2007 (včetně změn a oprav).
- [7] ČSN EN 1998-1 Eurokód 8: Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení – Část 1: Obecná pravidla, seizmická zatížení a pravidla pro pozemní stavby. Praha, ÚNMZ, 2006 (včetně změn a oprav).
- [8] HOLICKÝ, Milan a Jana MARKOVÁ. Zásady navrhování stavebních konstrukcí: příručka k ČSN EN 1990. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2007. Technická knižnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN 978-80-87093-27-6.
- [9] Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures. Reston, Virginia: American Society of Civil Engineers, [2017]. ISBN 9780784479964.

12.2. Podklady

- [10] Technické podklady dodané společností Institut ocelových konstrukcí, spol. s.r.o.

13. Seznam příloh

Příloha A – Technická zpráva

Příloha B – statický posudek – SCIA Engineer

Příloha C – posouzení rámového rohu se ztužidly – IDEA StatiCa

Příloha D – posouzení přípoje plošiny k pravé podpěře – IDEA StatiCa

Příloha E – Přehledná výkresová dokumentace

1 – Axonometrický pohled na most

2 – Pohled na osu A z vně mostu

3 – Pohled na osu B z vně mostu

4 – Pohled na levou dvojici sloupů levé podpěry

5 – Pohled na pravou dvojici sloupů levé podpěry

6 – Pohled na pravou podpěru a detail připojení plošiny k podpěře

7 – Pohled na plošinu

8 – Půdorys levé dolní části mostovky

9 – Půdorys mostovky

10 – Půdorys plošiny

11 – Půdorys horní příhradové konstrukce mostovky

12 – Detail rámového rohu

14. Použitý software

SCIA Engineer 2018.1	Výpočetní statický software
IDEA StatiCa	Výpočetní software pro styčníky
MS Word 2013	Textový editor
AutoCAD 2017	Grafický software
Tekla Structure	BIM software pro výkresovou dokumentaci

15. Seznam obrázků

OBRÁZEK 1: UMÍSTĚNÍ KONSTRUKCE (ZDROJ: MAPY.CZ)	19
OBRÁZEK 2: UMÍSTĚNÍ KONSTRUKCE (ZDROJ: MAPY.CZ)	19
OBRÁZEK 3: PRUTOVÝ MODEL V PROGRAMU AUTOCAD.....	20
OBRÁZEK 4: PRUTOVÝ MODEL SE ZATĚŽOVACÍMI PANELY V PROGRAMU SCIA ENGINEER	21
OBRÁZEK 5: SEZNAM ZATĚŽOVACÍCH STAVŮ VYGENEROVANÝ ZE SOFTWARE SCIA ENGINEER.....	24
OBRÁZEK 6: SEZNAM SKUPIN ZATÍŽENÍ VYGENEROVANÝ ZE SOFTWARE SCIA ENGINEER.	24
OBRÁZEK 7: MODEL KONSTRUKCE Z NĚHOŽ JE POČÍTÁNA VLASTNÍ VÁHA	25
OBRÁZEK 8: VLASTNÍ VÁHA TRAPÉZU – 0,50 KN/M ²	25
OBRÁZEK 9: VLASTNÍ VÁHA TRAPÉZU – 0,10 KN/M ²	26
OBRÁZEK 10: VLASTNÍ TÍHA TECHNOLOGIE – 18 KN	26
OBRÁZEK 11: VLASTNÍ TÍHA TECHNOLOGIE – 2 KN	27
OBRÁZEK 12: VLASTNÍ TÍHA TECHNOLOGIE – 4 KN	27
OBRÁZEK 13: VLASTNÍ TÍHA TECHNOLOGIE – 3 KN	28
OBRÁZEK 14: VLASTNÍ TÍHA TECHNOLOGIE – 23 KN	28
OBRÁZEK 15: NAPNUTÍ PÁSU – 20 KN	29
OBRÁZEK 16: NAPNUTÍ PÁSU – 2 KN	29
OBRÁZEK 17: NAPNUTÍ PÁSU – 3 KN	30
OBRÁZEK 18: NAPNUTÍ PÁSU – 22 KN	30
OBRÁZEK 19: UŽITNÉ ZATÍŽENÍ – 1. STAV (ZS4-1)	31
OBRÁZEK 20: UŽITNÉ ZATÍŽENÍ – 2. STAV (ZS4-2)	31
OBRÁZEK 21: UŽITNÉ ZATÍŽENÍ – 3. STAV (ZS4-3)	32
OBRÁZEK 22: UŽITNÉ ZATÍŽENÍ – 4. STAV (ZS4-4)	32

OBRÁZEK 23: UŽITNÉ ZATÍŽENÍ – 5. STAV (ZS4-5)	33
OBRÁZEK 24: ZATÍŽENÍ MATERIÁLEM – 7 KN	33
OBRÁZEK 25: ZATÍŽENÍ MATERIÁLEM – 4 KN	34
OBRÁZEK 26: ZATÍŽENÍ MATERIÁLEM – 3 KN	34
OBRÁZEK 27: ZATÍŽENÍ MATERIÁLEM – 2 KN	34
OBRÁZEK 28: ZATÍŽENÍ SNĚHEM Z PODKLADŮ [10]	35
OBRÁZEK 29: OBRÁZEK PRO ZATÍŽENÍ NÁVĚJÍ Z NORMY [3]	36
OBRÁZEK 30: ZATÍŽENÍ SNĚHEM – 1. STAV (ZS7-1)	37
OBRÁZEK 31: ZATÍŽENÍ SNĚHEM – 2. STAV (ZS7-2)	37
OBRÁZEK 32: ZATÍŽENÍ SNĚHEM – 3. STAV (ZS7-3)	37
OBRÁZEK 33: ZATÍŽENÍ SNĚHEM – 4. STAV (ZS7-4)	38
OBRÁZEK 34: ZATÍŽENÍ SNĚHEM – 5. STAV – NÁVĚJ NA SPODNÍ ČÁST MOSTOVKY (ZS7-5) ...	38
OBRÁZEK 35: ZATÍŽENÍ VĚTREM Z PODKLADŮ [10]	39
OBRÁZEK 36: OBRÁZEK 7.23 PRO SOUČINITEL SÍLY $C_{F,0}$ Z NORMY [4]	40
OBRÁZEK 37: VÍTR $+X -C_{F,Z}$ (ZS8-1)	42
OBRÁZEK 38: VÍTR $+X +C_{F,Z}$ (ZS8-2)	42
OBRÁZEK 39: VÍTR $-X -C_{F,Z}$ (ZS9-1)	43
OBRÁZEK 40: VÍTR $-X +C_{F,Z}$ (ZS9-2)	43
OBRÁZEK 41: VÍTR $+Y -C_{F,Z}$ (ZS10-1)	44
OBRÁZEK 42: VÍTR $+Y +C_{F,Z}$ (ZS10-2)	45
OBRÁZEK 43: VÍTR $-Y -C_{F,Z}$ (ZS11-1)	45
OBRÁZEK 44: VÍTR $-Y +C_{F,Z}$ (ZS11-2)	46
OBRÁZEK 45: HODNOTA SEISMICKÝCH ZATÍŽENÍ	46

OBRÁZEK 46: ZATĚŽOVACÍ STAVY VSTUPUJÍCÍ DO KOMBINACE MEZNÍHO STAVU ÚNOSNOSTI, GENEROVÁNO ZE SOFTWARE SCIA ENGINEER	48
OBRÁZEK 47: ZATĚŽOVACÍ STAVY VSTUPUJÍCÍ DO KOMBINACE MEZNÍHO STAVU POUŽITELNOSTI, GENEROVÁNO ZE SOFTWARE SCIA ENGINEER	49
OBRÁZEK 48: NASTAVENÍ VEDOUČÍ NADHODNOCENÝM VÝSLEDKŮM, SCIA ENGINEER.....	50
OBRÁZEK 49: ŠPATNÉ VÝSLEDKY SOUČinitele K_Y A NÁSLEDNÝCH OVLIVNĚNÝCH HODNOT, SCIA ENGINEER.....	51
OBRÁZEK 50: RUČNĚ OPRAVENÉ NASTAVENÍ PARAMETRŮ VZPĚR, SCIA ENGINEER	51
OBRÁZEK 51: OPRAVENÉ VÝSLEDKY SOUČinitele K_Y A NÁSLEDNÝCH OVLIVNĚNÝCH HODNOT, SCIA ENGINEER.....	52
OBRÁZEK 52: REAKCE NA LEVÉ PODPĚŘE U PROFILU HEA200, VÝSLEDKY ZE SOFTWARE SCIA ENGINEER.....	54
OBRÁZEK 53: REAKCE NA LEVÉ PODPĚŘE U PROFILU HEB220, VÝSLEDKY ZE SOFTWARE SCIA ENGINEER.....	55
OBRÁZEK 54: REAKCE NA PRAVÉ PODPĚŘE U PROFILU HEB240, VÝSLEDKY ZE SOFTWARE SCIA ENGINEER.....	56
OBRÁZEK 55: REAKCE NA PLOŠINĚ U PROFILU POD MOSTOVKOU HEA160, VÝSLEDKY ZE SOFTWARE SCIA ENGINEER.....	57
OBRÁZEK 56: REAKCE NA PLOŠINĚ U PROFILU MIMO MOSTOVKOU HEA160, VÝSLEDKY ZE SOFTWARE SCIA ENGINEER.....	58
OBRÁZEK 57: POSUZOVANÉ PRUTY HEB220, SCIA ENGINEER	59
OBRÁZEK 58: HODNOTY VNITŘNÍCH SIL, KLÍČ KOMBINACÍ A VYBRANÉ KOMBINACE PRO NEJHORŠÍ ÚČINEK PŘI POSUDKU PRŮŘEZU A PRO POSUDEK STABILITY, SCIA ENGINEER	60
OBRÁZEK 59: HEB220 – PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY, ZDROJ: STATICSTOOLS.EU	61
OBRÁZEK 60: SMYKOVÉ PLOCHY HEB220, SCIA ENGINEER	62
OBRÁZEK 61: ŠTÍHLOST HEB220, VYZNAČEN POSUZOVANÝ ÚSEK, SCIA ENGINEER.....	65
OBRÁZEK 62: ŠTÍHLOST HEB220, VYZNAČEN POSUZOVANÝ ÚSEK, SCIA ENGINEER.....	67

OBRÁZEK 63: POSUZOVANÉ PRUTY HEB200, SCIA ENGINEER	72
OBRÁZEK 64: HODNOTY VNITŘNÍCH SIL, KLÍČ KOMBINACÍ A VYBRANÉ KOMBINACE PRO NEJHORŠÍ ÚČINEK PŘI POSUDKU PRŮŘEZU, SCIA ENGINEER	73
OBRÁZEK 65: HEB200 – PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY, ZDROJ: STATICSTOOLS.EU	74
OBRÁZEK 66: SMYKOVÉ PLOCHY HEB220, SCIA ENGINEER	75
OBRÁZEK 67: POSUZOVANÉ PRUTY HEB200, SCIA ENGINEER	80
OBRÁZEK 68: HODNOTY VNITŘNÍCH SIL, KLÍČ KOMBINACÍ A VYBRANÉ KOMBINACE PRO NEJHORŠÍ ÚČINEK PŘI POSUDKU PRŮŘEZU, SCIA ENGINEER	81
OBRÁZEK 69: HEB200 – PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY, ZDROJ: STATICSTOOLS.EU	82
OBRÁZEK 70: SMYKOVÉ PLOCHY HEB220, SCIA ENGINEER	83
OBRÁZEK 71: ŠTÍHLOST HEB220, VYZNAČEN POSUZOVANÝ ÚSEK, SCIA ENGINEER	86
OBRÁZEK 72: ŠTÍHLOST HEB200, VYZNAČEN POSUZOVANÝ ÚSEK, SCIA ENGINEER	89
OBRÁZEK 73: RELATIVNÍ DEFORMACE MOSTOVKY, SCIA ENGINEER	94
OBRÁZEK 74: RELATIVNÍ DEFORMACE PRAVÉ PODPĚRY, SCIA ENGINEER	95
OBRÁZEK 75: PŘÍPOJ PODPĚRA – PLOŠINA, OZNAČENO ČERVENĚ, SCIA ENGINEER	96
OBRÁZEK 76: ROZMĚRY PŘÍPOJE, IDEA STATICA	97
OBRÁZEK 77: VNITŘNÍ SÍLY NA PŘIPOJOVANÉM PRUTU, ČERVENĚ OZNAČENA ROZHODUJÍCÍ KOMBINACE, SCIA ENGINEER	97
OBRÁZEK 78: PŘÍPOJ TÁHLA DO RÁMOVÉHO ROHU, OZNAČENO ČERVENĚ, SCIA ENGINEER	103
OBRÁZEK 79: ROZMĚRY PŘÍPOJE, IDEA STATICA	104
OBRÁZEK 80: ROZMĚRY PLECHU, IDEA STATICA	104
OBRÁZEK 81: VNITŘNÍ SÍLY NA PŘIPOJOVANÉM PRUTU, ČERVENĚ OZNAČENA ROZHODUJÍCÍ KOMBINACE, SCIA ENGINEER	105
OBRÁZEK 82: VÝKAZ MATERIÁLU	109